

# Электростатика.

## Методы моделирования электростатических явлений.

## Электростатический разряд.

## Модель заряженного устройства

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии приказом от 4 июля 2016 года № 797-ст утвердило и ввело в действие ГОСТ Р 53734.3.3-2016 «Электростатика. Методы моделирования электростатических явлений. Электростатический разряд. Модель заряженного устройства». Документ подготовлен АО «Научно-производственная фирма «Диполь» и внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 072 «Электростатика». Ниже приводим основные положения данных документов.

### Введение

Модели электростатического разряда (далее — ЭСР), указанные в ГОСТ Р 53734.3.1 и ГОСТ Р 53734.3.2, описывают ЭСР, которые происходят с заряженного предмета на чувствительный к ЭСР компонент (далее — ЧЭСР). Однако, в связи с возрастающим объемом использования автоматизированных систем обработки компонентов, в последнее время все чаще приобретает важность другой потенциально опасный механизм разряда — модель заряженного устройства (далее — МЗУ)\*. Компонент в модели МЗУ заряжается (например, скользя по поверхности (трибоэлектризация) или с помощью электростатической индукции электрического поля) и стремительно разряжается аналогично любому проводнику.

Точно определить наступление момента разряда с заряженного устройства представляется чрезвычайно сложным либо невозможным по причине инерционности измерительного оборудования и его влияния на процесс разрядки. Процесс разряда по модели заряженного устройства длится чаще всего несколько наносекунд, и при этом наблюдается максимальный ток до десятков ампер. Пиковый ток, присутствующий в ЧЭСР, существенным образом зависит от большого количества факторов, включая тип корпуса интегральной схемы. Последствиями ЭСР по модели МЗУ могут быть различные нарушения. Наиболее распространено повреждение изоляционного слоя.

Чувствительность компонента к ЭСР по модели МЗУ зависит от типа корпуса. Кристалл интегральной схемы (далее — ИС), находящийся в мало-

габаритном корпусе (SOP), может быть в большей степени восприимчив к повреждению МЗУ по сравнению с кристаллом в корпусе с двухрядным расположением выводов (DIL).

Минимальный порог чувствительности имеют ИС в тонких малогабаритных корпусах (TSOP) или в плоских корпусах с матричным расположением штырьковых выводов (PGA).

Порог чувствительности компонента к ЭСР по модели МЗУ играет определяющую роль при разработке рекомендаций по защите. При выполнении обычных рекомендаций по ГОСТ Р 53734.5.1 не возникает проблем с применением компонентов с порогом чувствительности 1000 В и более, при пороге 500 В и менее разрушительные последствия могут иметь место. Применение современного подхода к организации средств электростатической защиты делает ее эффективной даже при пороге чувствительности компонентов 250 В и менее.

Данная часть стандарта ГОСТ Р 53734 описывает формы импульсов тока разряда, используемые для моделирования электростатических разрядов по модели заряженного устройства, и основные требования к оборудованию для их воспроизведения и измерения.

Стандарт устанавливает МЗУ для использования в методах испытаний устройств, материалов, электронных компонентов с целью определения их устойчивости к воздействию ЭСР и для целей оценки эффективности способов защиты. Применение стандартизированной модели ЭСР обеспечивает сопоставимость результатов испытаний и сравнение пороговых напряжений ЭСР с электронными компонентами. Установленные в настоящем стандарте формы импульсов не следует применять при испытаниях работающих электронных систем на электромагнитную совместимость.

\* МЗУ — модель воздействия электростатическим разрядом, которая приближенно создает явление разряда, возникающее, когда заряженный компонент быстро разряжается на другой объект с более низким электростатическим потенциалом через сигнальный штырь или контакт.

## Классификация

В ГОСТ 3 53734.3.3-2016 дана классификация компонентов по ЭСР модели МЗУ. Компоненты, чувствительные к ЭСР (ЧЭСР), классифицируются в соответствии с пороговым напряжением при ЭСР, генерируемым в соответствии с данным стандартом. Классификационные уровни компонентов, чувствительных к ЭСР, при использовании модели заряженного устройства представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Классификационные уровни компонентов, чувствительных к ЭСР, при использовании модели заряженного устройства\*

Класс	Диапазон напряжения, В
C1	<125
C2	От 125 до <250
C3	От 250 до <500
C4	От 500 до <1000
C5	От 1000 до <1500
C6	От 1500 до <2000
C7	≥2000

**Примечание.** \*При создании напряжения свыше 1500 В в зависимости от геометрических размеров корпуса компонента может возникать эффект короны, ограничивающий фактическое предразрядное напряжение и разрядный ток

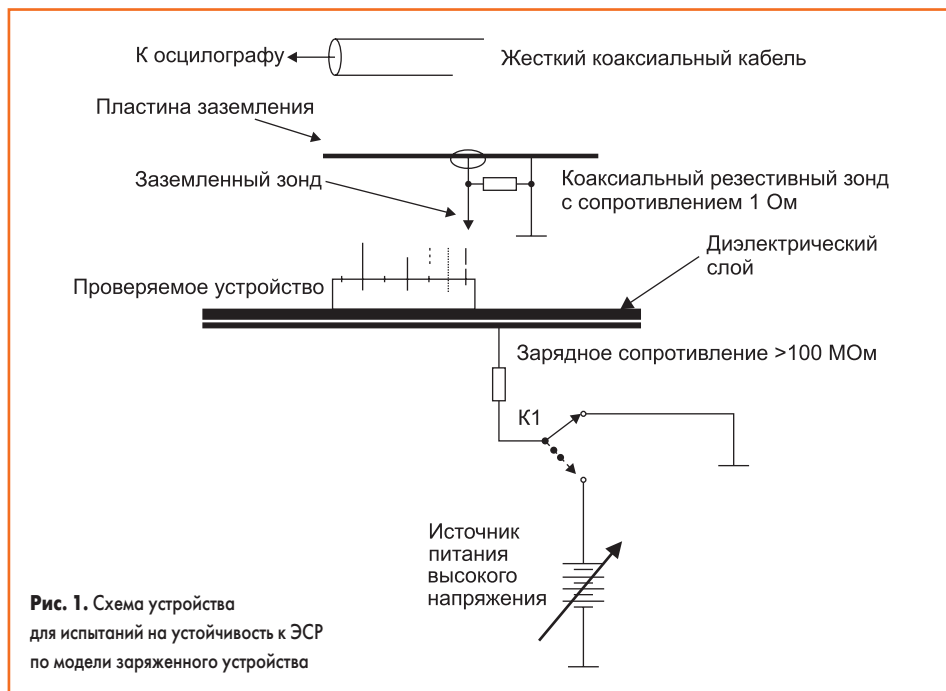
## Оборудование

Для создания потенциала компонента с целью последующего разряда по модели заряженного устройства в стандарте отмечается возможность применения метода прямой или индукционной зарядки.

При прямой зарядке компонент, подвергающийся проверке, помещают на пластину возбуждения и заряжают через штырь, который наилучшим образом создает гальванический контакт с подложкой либо с помощью основного материала компонента, либо посредством одновременного использования всех штырей. Общее зарядное сопротивление (рис. 1) должно составлять не менее 100 МОм. Контакт с зарядным штырем должен устанавливаться до начала повышения напряжения. Каждый штырь разряжается поочередно (включая штыри источника электропитания и заземления), за исключением штырей, подсоединенных к подложке. После разрядки каждого штыря необходимо повторно заряжать компонент.

Для предотвращения возможного повреждения компонента необходимо принять меры предосторожности для обеспечения нахождения зарядного механизма и компонента на потенциале «земли» перед началом выполнения предварительного подключения. Не менее 1 МОм зарядного сопротивления должно физически подаваться в непосредственной близости к зарядному штырю, чтобы исключить воздействие остаточного заряда на линию зарядки. В ходе процесса зарядки допускается размещение зарядного зонда на зарядном штыре при соблюдении требований, касающихся форм импульса.

Модули с несколькими кристаллами или иные специальные компоненты (например,



КНС-структура, КНД-структура или гибридные ИС) должны заряжаться через общий штырь источника питания для того, чтобы весь компонент имел зарядный потенциал. Для модулей с несколькими кристаллами, которые не имеют общего штыря, не рекомендуется метод прямой зарядки.

При индуктивной зарядке испытуемый компонент помещается на пластину возбуждения, увеличение потенциала компонента производится повышением потенциала пластины возбуждения. Устройство разряжается через один штырь, поэтому повторение данного действия необходимо тех пор, пока все штыри будут подвергаться нагрузке, включая все штыри источника питания. Согласно стандарту размер пластины возбуждения (как минимум более чем в семь раз превышающий размер испытуемого компонента) должен быть таким, чтобы характеристика формы импульса соответствовала требованиям данного документа. Пластину возбуждения следует соединять с источником электропитания или «землей» через резистор, сопротивление которого превышает 100 МОм (рис. 1).

Толщина диэлектрического слоя, покрывающего пластину возбуждения, должна быть не менее 130 мкм, так как наличие диэлектрика уменьшает емкость на корпус между компонентом и пластиной возбуждения, что оказывает влияние на ток разряда. При этом стандарт рекомендует принимать необходимые меры для того, чтобы компоненты не заряжались до начала проведения испытаний.

Согласно рекомендациям по проведению испытаний, бесконтактный метод разрядки, описанный в данном документе, подразумевает, что воздушный разряд имитирует ЭСР по модели заряженного устройства, происходящий в обычных условиях окружающей среды. Разряд происходит в воздухе по мере приближения заземленного предмета к штырю заряженного устройства. Характеристики разряда — напряжение пробоя, пиковое значение тока, форма волны и т. д. — зависят от ряда

факторов, в том числе от атмосферного давления и движения воздуха, влажности, форм электродов, скорости приближения электродов друг к другу и их чистоты. Ввиду трудностей контроля всех указанных факторов воспроизводимость и повторяемость испытаний достигаются достаточно трудно. При этом проявляется тенденция к накоплению последствий влияющих факторов и снижению повторяемости результатов испытаний. Некоторые испытатели успешно справляются с вопросами влияния влажности и давления созданием подконтрольной локальной среды, используя сухой инертный газ, например азот, или чистый сухой воздух.

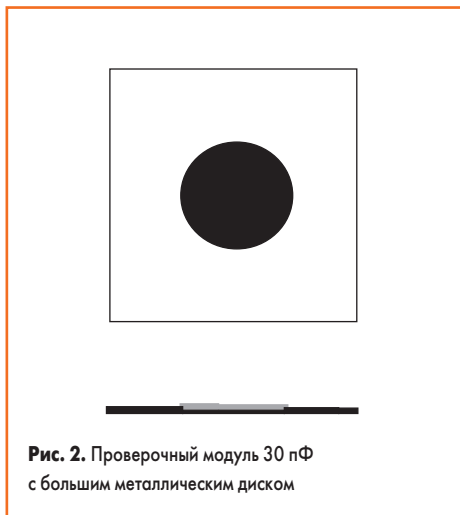
Регулярная чистка или замена разрядных электродов и прочистка штырей компонентов до начала проведения испытаний помогают устранить влияние загрязнений.

Разброс пикового значения тока на величину до 20% характерен для бесконтактного метода разряда. Последствия, вызванные такими отклонениями, могут быть сведены к минимуму с помощью статистических методов контроля после сбора данных.

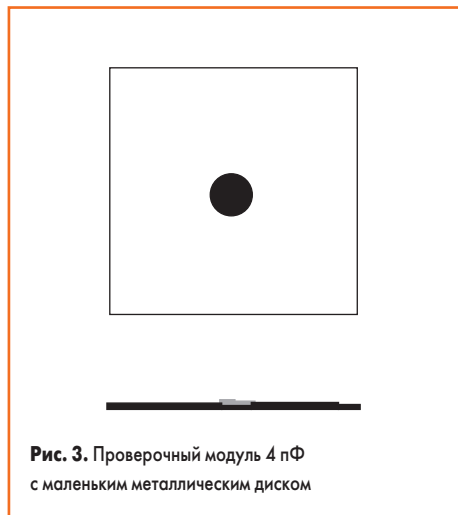
Основными преимуществами бесконтактного метода разрядки является то, что при нем достигаются естественные условия разрядки и сводятся до минимума паразитные свойства цепи.

К основным недостаткам следует отнести невозможность обеспечения разрядов на выбранном штыре во время испытания компонентов, имеющих очень маленькое расстояние между выводами, и трудность воспроизведения разрядов для крайних допусковых значений.

В стандарте отмечаются требования к оборудованию для измерения формы импульса, в том числе для измерения формы импульса с частотой 3 ГГц и частотой 1 ГГц (осциллографам или цифровым преобразователям переходного процесса с шириной полосы 3 дБ, аттенюаторам, зондам, кабельным сборкам), проверочным модулям, измерителям емкости, омметрам.



**Рис. 2.** Проверочный модуль 30 пФ с большим металлическим диском



**Рис. 3.** Проверочный модуль 4 пФ с маленьким металлическим диском

В документе оговорено, что проверочные модули — это два позолоченных или никелированных протравленных медных диска на одностороннем изоляционном материале для печатных плат (рис. 2, 3). Для печатных плат может использоваться материал FR-4 или RF-35. Каждый диск должен протравливаться в центральной части квадрата из изоляционного материала.

В качестве рекомендуемых представлены физические размеры, приведенные в таблице 2. Действительные емкостные сопротивления проверочных модулей измеряются с помощью измерителя емкости.

**Таблица 2.** Спецификация на проверочные модули

Диэлектрический материал диска (размер)	FR-4 (маленький)	FR-4 (большой)	FR-35 (маленький)	FR-35 (большой)
Диэлектрическая проницаемость	4,7	4,7	3,5	3,5
Диаметр диска, мм	9,5	26	9,8	26,93
Толщина диэлектрического слоя, мм	0,8	0,8	0,584	0,584
Емкость диска, пФ	4	30	4	30
Площадь диэлектрика, минимальный размер, мм	30×30			

В документе описываются калибровка измерительного оборудования, проверка емкости проверочных модулей, квалификация испытательного устройства, регистрация формы создаваемого импульса, требования по проверке формы импульса ЭСР, процедуры подтверждения соответствия испытательного устройства и оценки соответствия формы импульса ЭСР.

Новый ГОСТ оговаривает требования по проверке оборудования.

Так, калибровку измерительного оборудования необходимо проводить в соответствии с рекомендациями изготовителя и с интервалом между калибровками 1 год. В перечень калибруемого оборудования входят осциллограф, аттенуатор, датчик тока, коаксиальный резистивный зонд, измеритель емкости и проверочный(ые) модуль(и). Калибровка должна проводиться в соответствии с действующим в Российской Федерации порядком.

Емкость проверочных модулей проверяется следующим образом.

Расположите неметаллизированную (диэлектрическую) сторону проверочного модуля 4 пФ, создавая плотный контакт с металлической поверхностью заземленной пластины возбуждения. Воздушного зазора между модулем и пластиной возбуждения не должно быть.

После этого производится измерение емкости модуля относительно заземленной пластины возбуждения с помощью измерителя емкости.

Далее действия необходимо повторить, используя проверочный 30-пФ модуль на заземленной пластине возбуждения.

ГОСТ указывает на выполнение проверки устройства для испытаний компонента на устойчивость к ЭСР по модели заряженного устройства, являющейся частью первоначальных приемочных испытаний и проводимой по стандартной методике в соответствии с рекомендациями изготовителя. Максимальный интервал между полными квалификационными испытаниями составляет 1 год. Порядок выполнения действий по определению пригодности устройства для контроля за ЭСР модели заряженного устройства указан в данном документе.

Требования по проверке формы импульса ЭСР включают периодическую регистрацию формы импульса ЭСР с помощью проверочных модулей. Максимальное время между двумя проверками должно составлять 1 месяц для оборудования, используемого не менее 30 ч в неделю, или до 3 месяцев — для оборудования, используемого менее интенсивно. Проверка должна включать визуальное наблюдение за формой импульса и сравнение с записями форм импульса как при положительной, так и при отрицательной полярности. Диэлектрические слои, плоскости заземления (пластины заземления), коаксиальный разрядный резистор (зонд), расстояние между пластиной заземления и пластиной возбуждения, проверочные модули и разрядные контакты (например, пружинные контакты) являются основными элементами конструкции тестера. Любые вносимые изменения требуют проведения проверки формы импульса ЭСР.

Процедура подтверждения соответствия устройства для испытаний должна обеспечивать точность параметров импульса для раз-

рядного тока при положительной и отрицательной полярности и каждого проверочного модуля. Форма импульса измеряется с помощью осциллографа с полной шириной полосы (3 ГГц), аттенуатора, токового зонда или коаксиального резистивного зонда. Для подтверждения соответствия не используется измерительное оборудование с частотой 1 ГГц.

### Испытания

Процедура испытаний, описанная в ГОСТе, включает требования к их проведению. Ниже отметим некоторые из них.

Так, до начала выполнения испытаний на устойчивость к ЭСР и во время испытаний тестируемый образец необходимо содержать при комнатной температуре.

В начале и конце каждого этапа испытаний необходимо обеспечить соответствие формы импульса применительно к уровню 500 В таблицы 3 в части положительной и отрицательной полярности с помощью проверочного модуля 4 пФ. В том случае когда формы импульсов не соответствуют требованиям заданных предельных значений, все результаты испытаний, полученные после последней проверки, которая соответствовала установленным требованиям, считаются недействительными. Если испытания проводятся в виде последовательно чередующихся этапов, проверки форм импульсов в конце этапа могут служить в качестве начальных проверок следующего этапа.

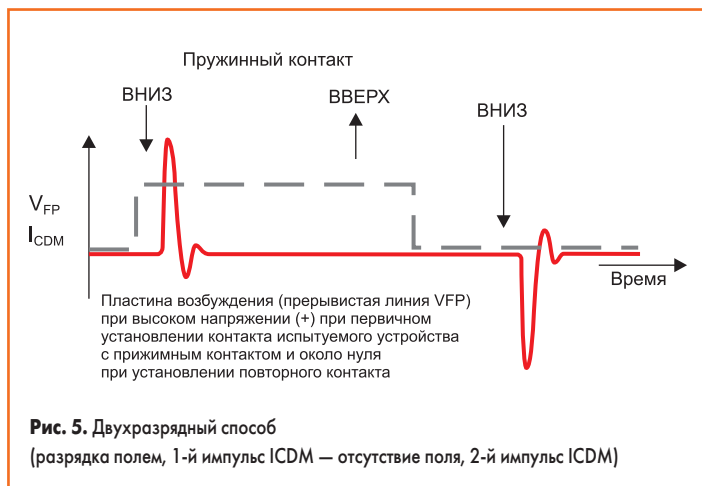
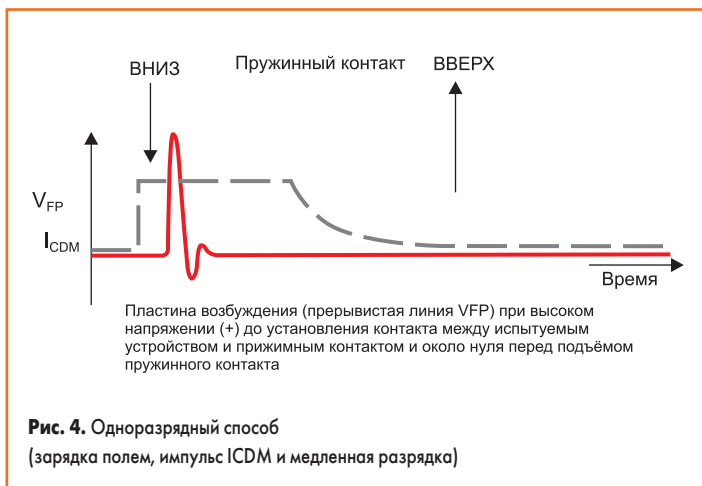
**Таблица 3.** Уровни воздействия ЭСР

Уровень воздействия	Зарядное напряжение, В
1	125
2	250
3	500
4	1000
5	1500
6	2000

Статические и динамические испытания необходимо выполнять в полном объеме с учетом заданных в технической спецификации параметров на образец; делать это следует перед началом проведения испытаний на устойчивость к ЭСР и после них, чтобы установить возможные отказы компонентов.

ГОСТом отмечается необходимость выполнения классификации компонентов по выдерживаемому напряжению импульса при определении устойчивости к ЭСР модели заряженного устройства в соответствии с данными таблицы 1.

Испытания могут начинаться с любого необходимого уровня. В случае отказа отдельного компонента следует продолжать испытание с использованием нового компонента на более низком напряжении до тех пор, пока не будет установлено выдерживаемое напряжение. При успешном прохождении компонентом начального уровня нужно продолжать проведение испытания в соответствии с уровнями напряжений, указанных в таблице 3, до тех пор, пока компонент не выйдет из строя или не будет достигнуто максимальное зарядное



напряжение. Классификационные испытания на устойчивость к ЭСР модели заряженного устройства считаются разрушающими испытаниями, даже если компонент не вышел из строя во время их проведения. При необходимости возможно использование небольших шагов приращения уровней напряжения для определения выдерживаемого напряжения.

Для классификации компонентов необходимо выполнение приведенной ниже последовательности.

Испытаниям подвергается не менее трех образцов одного компонента применительно ко всем статическим и динамическим параметрам, установленным в технической спецификации.

Установите первый компонент и начните проведение испытаний с использованием уровня воздействия, указанного в таблице 3.

Увеличьте потенциал компонента. При использовании прямого метода зарядки разрядите испытуемый штырь в общей сложности шесть раз (три положительных и три отрицательных разряда). С помощью метода индуктивной зарядки необходимо выполнить действия, описанные далее. Нужно сделать шесть разрядов (три положительных и три отрицательных) на каждом штыре. Время между разрядами должно быть достаточным для того, чтобы компонент мог достичь полного напряжения нагрузки, с минимальным временем между разрядами, составляющим 1 с.

При использовании метода индуктивной зарядки индуцированным полем можно выполнить зарядку и разрядку испытуемого устройства двумя способами: одноразрядным и двухразрядным. В ходе проведения обеих процедур получают равнозначные результаты.

При одноразрядном способе три положительных и три отрицательных разряда могут формироваться вместе с шестью индивидуальными разрядами, выполняя приведенную ниже последовательность действий, которые приводят к последовательности зарядных/разрядных событий в соответствии с рис. 4:

- Напряжение возбуждения устанавливается при увеличении напряжения на пластине возбуждения до величины заданного уровня воздействия. Первая разрядка осуществляется при опускании пружинного контакта на испытуемый образец.

- После разрядки пружинный контакт удерживается в контакте со штырем испытуемого образца компонента для обеспечения переноса полного заряда и выведения проводящего канала на «землю».

- Затем напряжение на пластине возбуждения медленно падает, что приводит к полному стеканию заряда, переданного на испытуемое устройство во время первой разрядки по модели заряженного устройства.

- Пружинный контакт возвращается в свое начальное (разъединенное) положение, прежде чем напряжение той же или противоположной полярности прикладывается на пластину возбуждения для выполнения последующих разрядок.

- Указанная последовательность действий выполняется шесть раз (три положительных и три отрицательных в любой последовательности) для получения шести разрядок.
- Данные действия необходимо применить к каждому штырю, подвергающемуся испытаниям.

При двухразрядном способе (рис. 5) три положительных и три отрицательных разряда могут формироваться вместе с тремя парами разрядов знакопеременной полярности, выполняя приведенную ниже последовательность действий:

- Напряжение на пластине возбуждения повышается до величины заданного уровня воздействия.

- Первая разрядка осуществляется при опускании пружинного контакта к испытуемому образцу.

- Пружинный контакт удерживается в испытуемом образце для переноса полного заряда и выведения проводящего канала на «землю».

- Пружинный контакт возвращается в свое начальное (разъединенное) положение, оставляя устройство с полным зарядом.

- Напряжение на пластине возбуждения медленно возвращается к нулю, таким образом достигается полное удаление заряда с пластины возбуждения.

- Пружинный контакт опускается (вторая стрелка, направленная вниз и расположенная справа на рис. 5) во второй раз для выполнения второго разряда, который имеет противоположную полярность и такую же величину.

- Указанные действия повторяются три раза в совокупности трех положительных и трех отрицательных разрядов.

- Данные действия необходимо применить к каждому штырю, подвергающемуся испытаниям.

Все вышеуказанные действия необходимо провести на трех образцах компонентов. Уровни воздействия необходимо зарегистрировать.

При этом компоненты следует испытать по всем статистическим и динамическим параметрам, представленным в технической спецификации. Результаты для каждого компонента записываются. Параметрический контроль и функциональные испытания должны проводиться при комнатной температуре или в соответствии с требованиями, установленными в спецификации на компонент. Если испытания должны проводиться при разных температурах, нужно выполнить сначала испытания с более низкой температурой, а затем последовательно повышать ее.

Если все компоненты удовлетворяют требованиям параметров, установленных в технической спецификации, действия надо повторить, используя более высокий уровень воздействия, указанный в таблице 3.

Если один или более образцов компонентов вышли из строя, необходимо повторить испытание электростатическим разрядом, используя при этом три новых компонента, начиная со следующего меньшего уровня воздействия. Если компоненты продолжают выходить из строя, нужно снижать напряжение воздействия до достижения уровня 1 (табл. 3). При выявлении отказов на уровне 1 необходимо остановить проведение испытаний на этом уровне.

В качестве альтернативы возможно применение трех отдельных образцов компонентов на каждом уровне воздействия согласно таблице. Отдельные компоненты могут также использоваться для каждой полярности и штыря.

Мы привели некоторые важные моменты, отраженные в ГОСТе. Следует напомнить, что в соответствии с отметкой Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии данный обзор не может считаться официальным изданием документа.