

Экономический эффект при внедрении ESD-программ на предприятиях радиоэлектронной промышленности

Материал, рассматриваемый в данной статье, хотя и основан на исследованиях, проводимых в 1990-х годах, может быть актуальным и полезным для многих руководителей, заинтересованных в повышении качества продукции. Практический опыт общения с руководителями предприятий показывает, что для многих внедрение системы защиты ESD остается пока не решенной задачей.

Роджер Дж. Пирс

Введение на предприятии программы контроля статического электричества, возможно, является одной из лучших инвестиций в область управления качеством продукции.

По данным, собранным за несколько лет американскими компаниями, выполняющими подряды по установке защитного оборудования, показатели дохода на инвестиции, как правило, превышают 20:1 или 30:1, в зависимости от стратегии внедрения ESD-программ.

Предпосылки исследования

Материал, который рассматривается здесь, основан скорее на отдельных примерах, нежели на результатах тщательных исследований. Тем не менее это реальный опыт.

Интересно отметить, что ни одна из компаний, упомянутых в данном исследовании, не начинала внедрения программ контроля электростатического заряда с целью экономии средств или гарантии качества. Они в большей степени были вынуждены поступить так при заключении военного контракта в рамках предписаний правительства США MIL-STD-1686A.

Фактически, лишь немногие из двухсот производителей, с которыми мы работали, начали внедрение программ ESD-контроля, рассчитывая добиться возврата инвестиций. Большинство же «для галочки» ввели непродуманные, недостаточно контролируемые программы, предназначенные для удовлетворения требований правительственных контролеров, и упустили возможность увеличить прибыль.

Собрать показатели доходности можно было постольку, поскольку каждая компания уже довольно долгое время производила определенный ассортимент продукции, и информация о доходах, сроках гарантийного ремонта, количестве исправлений брака и рекламационных возвратов была доступна. Военные подрядчики — идеальные объекты для исследования подобного типа, поскольку одна и та же

продукция производится в течение пяти и более лет. Если бы в процессе внедрения средств антистатического контроля детали и технологические процессы менялись слишком сильно или слишком часто, собрать сведения об отдаче от вложений было бы практически невозможно. Однако в данном случае единственным значительным изменением технологического процесса стало введение средств контроля статического электричества.

Приведем показатели по возврату инвестиций 13 фирм, прошедших исследования:

- минимальный доход на инвестиции = 5:1;
- средний доход на инвестиции = 10:1;
- максимальный доход на инвестиции = 20:1.

Средний показатель равен 10:1. Это означает, что если компания затратила \$10 тыс. на внедрение программ контроля ESD, то она заработает \$100 тыс. за счет снижения процента брака и рекламаций.

Более того, результаты исследований позволяют предположить, что все компании получили бы доход на инвестиции свыше 40:1, если бы ответственнее подошли к выбору средств контроля статического электричества.

Средние затраты на средства защиты от электростатики для 13 компаний составили \$80 тыс., а средняя экономия за первый год — \$800 тыс. Важно, что все компании получили доход на инвестиции от 5:1 и выше.

Обучение работников компаний, в том числе руководителей, также значительно влияет на отдачу от инвестиций. Средний доход компаний, внедривших средства контроля статического электричества без проведения планового обучения своих сотрудников, составил 7:1. Показатель для компаний, проводивших общезаводское обучение (даже в том случае, если оно проводилось кратковременно, под надзором инструкторов), был почти вдвое выше — 13:1.

При исследовании каждого технического средства скептики настаивали, что в этой области производства не может быть повреждений, вызванных

электростатическим разрядом. Такая позиция довольно распространена среди технологов-практиков. Однако когда появились финансовые результаты, их отношение быстро изменилось. Вот еще одна причина, по которой следует соотнести использование средств контроля статического электричества с итоговыми прибылями — это позволяет добиться согласия и сотрудничества при использовании средств ESD-контроля.

Пример внедрения ESD-программы

Одна из 13 компаний, участвовавших в исследовании, имела 150 монтажных мест. Стандартный технологический процесс включал получение компонентов, монтаж на плату, пайку волной припоя, конформное покрытие, тестирование и транспортировку готовых модулей.

Имеющаяся система контроля статического электричества была организована формально и при проверке оказалась фактически не работающей. Хотя ношение наручных антистатических браслетов считалось обязательным, более 25% рабочих не надевали их, а у тех, кто надевал, свыше 90% браслетов показывали разомкнутую цепь или высокое сопротивление на «землю». Продукция хранилась и транспортировалась в «розовых» антистатических пакетах и другой упаковке, не имеющей электрического экранирования.

В 1986 году компания начала обновление своей программы контроля статического электричества. В течение трех лет проводилось внедрение новых средств контроля и сбор данных о повышении доходов, уменьшении количества исправлений брака и рекламационного возврата продукции в связи с введением различных средств контроля. Эти данные объединены в таблице 1.

Информация, приведенная в таблице 1, требует пояснений.

Например, четыре из 13 компаний, участвовавших в исследовании, установили проводящее напольное покрытие уже после начала использования браслетов. Ни одна из этих четырех компаний не отметила разницы в доходах до и после применения покрытий. Однако важно отметить, что все четыре компании защищали свою продукцию от статического электричества во время ее транспортировки и хранения при помощи либо проводящих контейнеров, либо антистатических металлизированных пакетов, а все антистатические браслеты ежемесячно тестировались. Но положительный эффект системы заземления пола становится заметным лишь при отказе всех перечисленных мер предосторожности. Как ни парадоксально, успешное заземление пола в этом случае сделало бы незаметным подобный отказ.

В большинстве фирм сумма возврата инвестиций будет отличаться в зависимости от последовательности, в которой принимались различные меры снижения влияния статического электричества и от уместности их применения. Например, некоторые фирмы используют ионизаторы или проводящие полы и браслеты

Таблица 1

Дата	Средство антистатической защиты	Стоимость, \$	Экономия за первый год, \$
Январь '86	Новые антистатические браслеты, в том числе пробные, обучение	7500	250 000
Июнь '86	Антистатические пакеты; замена «розовых» пакетов	9000	270 000
Июнь '87	Установка проводящего напольного покрытия, антистатические браслеты на обувь	80 000	недостаточно данных
Январь '88	Антистатическая одежда (приобретено 200 комплектов)	5000	недостаточно данных
Январь '88	Настольные ионизаторы (приобретено 50 шт.)	15 000	недостаточно данных
Май '88	Тестирование оборудования для пайки	1000	30 000
Сентябрь '88	Замена отработавших свой срок антистатических пакетов	4500	40 000
Итого:		122 000	590 000

на обувь в качестве первой линии защиты от статического разряда, и лишь после этого добавляют наручные браслеты как дополнительное средство.

Наконец, независимо от того, какой элемент защиты был установлен первым — проводящие полы или антистатические браслеты — средства, сэкономленные в течение первого года, будут примерно одинаковыми, поскольку эффект от применения на рабочем месте любого из них приблизительно одинаков. Это во многом верно и для других стратегий контроля статического электричества — ионизаторы или антистатическая одежда также показали бы высокий результат, если бы они были установлены первыми.

Таблица 2

Средства контроля статического электричества	Процент от сэкономленной суммы
Заземление персонала	40
Антистатическая упаковка продукции при транспортировке и хранении	40
Замена отработавших свой срок антистатических упаковочных материалов	12
Контроль оборудования для пайки	5
Все прочие	3

Анализ ситуации

В январе 1986 года компания ввела использование антистатических браслетов и соответствующего заземления для всего персонала, занятого в производстве. Браслеты тестировались ежедневно, и работники прошли минимальный инструктаж по их применению.

С января по июнь наблюдался постоянный рост доходов, произошедший благодаря сокращению количества брака, выявленного на производстве, и уменьшению числа возвратов по гарантии. Увеличение доходов составило \$20,8 тыс. в месяц. Коэффициент возврата инвестиций за год — 33:1 (инвестиции \$7,5 тыс., экономия \$250 тыс.).

На основе этих начальных результатов компания решила инвестировать в средства контроля статического электричества напрямую, для того чтобы повысить доходы. В июне 1986 года все «розовые» антистатические пакеты и упаковочные материалы были заменены пакетами, предназначенными для защиты от статического электричества при транспортировке и хранении продукции. И снова были получены значительные финансовые результаты.

Новая программа позволила сэкономить \$22,5 тыс. в месяц, и эта сумма осталась неизменной в течение всего следующего года. Коэффициент возврата инвестиций в данном случае составил 30:1 (\$270 тыс. экономия, \$9 тыс. инвестиции).

После получения таких положительных результатов руководством были одобрены и применены другие программы ESD-контроля. Надеюсь, что двойная система заземления принесет пропорциональное повышение доходов, фирма применила проводящие напольные покрытия и антистатические браслеты для ног на главной производственной площадке.

Однако после внедрения не было отмечено значительного снижения брака. Можно предположить, что если бы проводящий пол был единственным элементом заземления, он обеспечил бы более высокий коэффициент возврата инвестиций. Таким образом, заземление персонала при помощи и браслетов, и проводящего пола может считаться избыточным.

В ходе дальнейшего внедрения ESD-программ, при добавлении антистатической одежды и настольных ионизаторов, наблюдался небольшой рост прибыли. Ионизаторы были установлены на 50 местах сборки, чтобы удалять статические заряды с таких предметов, как пластиковые бутылки и документы. Антистатическая одежда должна была предотвратить контакт уличной одежды с продукцией, чувствительной к статическому электричеству.

В обоих случаях программы контроля выполняли свою функцию, но доход от инвестиций был невелик. Эти факты плюс данные, приведенные ниже, указывают на наиболее вероятные причины ущерба от статического электричества в процессе производства. Заряженные диэлектрические объекты на рабочих местах, похоже, не причиняют большого ущерба от статического электричества. А вот проводники — крупные проводящие объекты, люди и автоматы (как заряженные, так и не заряженные) являются основной причиной убытков.

Кроме того, возврата инвестиций удалось достичь за счет изъятия изношенных антистатических пакетов или пакетов с внутренними антистатическими слоями, которые заряжали хранившиеся в них детали. После применения этих вспомогательных программ по контролю упаковки и оборудования для пайки был зафиксирован возврат инвестиций 30:1 и 9:1.

Суммарно по возврату инвестиций, как если бы все программы были введены в одно и то же время, мы получим следующие результаты:

- общая стоимость программ контроля статического электричества — \$122 тыс.;
- общая сумма роста доходов за год — \$590 тыс.

Коэффициент возврата инвестиций в приведенном примере составляет 4,83:1. Чрезвычайно важно, что общий итог \$590 тыс. был полностью получен в результате использования четырех средств контроля общей стоимостью всего \$22 тыс. Если бы были введены только эти четыре средства контроля, картина оказалась бы следующей:

- общая стоимость программ контроля статического электричества — \$22 тыс.;
- общая сумма роста доходов за год — \$590 тыс.

Эти цифры дают коэффициент возврата инвестиций 27:1.

Какие программы контроля статического электричества позволяют добиться лучших результатов? Подобный анализ был проведен на основе данных, полученных от 13 компаний, участвовавших в исследовании, их общие приблизительные результаты приведены в таблице 2. Ниже приводится наш анализ этих данных.

Заземление рабочего персонала (40%). Простая практика заземления персонала посредством использования наручных браслетов, возможно, наименее дорогое средство контроля статического электричества, приносящее наибольший результат. Однако лишь немногие компании принимают меры для реализации всех возможностей антистатических браслетов, носимых работниками предприятия. Для этого необходимо регулярно проверять их с помощью тест-станций перед входом в зону EPA.

Антистатическая упаковка для хранения и транспортировки (40%). Высокие коэффициенты возврата инвестиций отмечены также для всех видов продукции, защищающей чувствительные компоненты во время транспортировки или хранения, — таких как проводящие контейнеры или антистатические пакеты. Кроме того, во всех компаниях отмечен постоянный рост сумм возврата инвестиций,

в том числе немедленный рост итогового дохода в тех случаях, когда компании переходили от антистатической упаковки к металлизированным антистатическим пакетам либо к проводящим контейнерам.

Удаление изношенных материалов (12%). Эти данные показывают, что компании теряют огромные суммы из-за ущерба от статического электричества, причина которого — антистатические материалы, потерявшие свои защитные свойства. Несмотря на всю важность проблемы, лишь немногие компании пытаются предотвратить эти потери, а большинство не осведомлено о ней. Наши данные по коэффициентам возврата инвестиций помогли выявить следующие области:

- Тубы для микросхем. Прозрачные антистатические тубы для микросхем имеют определенный срок годности и после его истечения могут генерировать заряд. При контакте с персоналом или с оборудованием этот заряд может нанести ущерб продукции. Замена старых контейнеров или их тестирование, помогающее убедиться, что заряд удаляется с оборудования перед контактом, приведут к значительному сокращению потерь.
- Антистатические упаковочные материалы. Экономический эффект можно получить, если антистатические или металлизированные защитные пакеты проходят 100%-ное тестирование для выявления изношенных пакетов, генерирующих заряд. Во время исследования выяснилось, что этой области наносится большой ущерб от статического электричества, причем мало кто знает о характере повреждений или о величине проблемы.
- Настольные ионизаторы. Ионизаторы обеспечивают высокий коэффициент возврата инвестиций, если они используются в чистом помещении, в некоторых операциях, требующих притока воздуха, — для электрофореза, при операциях по напылению покрытия, а также при операциях, производимых при помощи автоматизированного оборудования.

- Антистатическая рабочая одежда. Ношение защитной антистатической одежды не дает максимального возврата инвестиций, поскольку соприкосновение компонентов с одеждой не является частым событием.

Выводы

Основываясь на нашем опыте и представленных данных, мы считаем:

1. Программы контроля статического электричества могут рассматриваться как инвестиции. Если работа сделана правильно, можно получить экономию на вложенные средства от 30:1 до 40:1.
2. Для получения максимального возврата инвестиций руководство должно заботиться об обучении сотрудников и контроле за выполнением всех правил ESD-программы.
3. Изношенные антистатические материалы, генерирующие электрический разряд, наносят огромный ущерб. Для замены желательно приобрести высококачественные антистатические пакеты. Не следует пытаться сэкономить деньги, покупая упаковочные материалы низкого качества. К тому же необходимо обращать внимание на срок службы туб для микросхем.
4. Возврат инвестиций достигается при переходе с антистатических пакетов на металлизированные защитные пакеты и проводящие контейнеры.
5. Установка тестеров антистатических браслетов (а еще лучше — постоянного наблюдения за их состоянием) на каждом рабочем месте существенно повышает доход. Кроме того, целесообразно протестировать паяльники и изъять дефектные.
6. Большая часть повреждений статическими разрядами вызвана крупными проводящими объектами (то есть людьми и металлическими предметами), в то время как заряженные диэлектрические объекты (бумага и пластик) на рабочем месте причиняют меньше вреда. Статические заряды, генерируемые одеждой операторов, не наносят большого ущерба.