

Keysight Technologies

Реальная совокупная стоимость владения тестовым оборудованием

Аналитический доклад

Аннотация. Стоимость владения всегда является ключевым вопросом при принятии решения о выпуске новой версии, обновлении или сохранении поддержки любого продукта. Критерии, используемые при разработке модели оценки совокупной стоимости владения (TCO), моментально становятся предметом горячих споров. Дать верный ответ непросто и тогда, когда речь заходит о стоимости приобретения и эксплуатации тестового оборудования. Однако при рассмотрении данного вопроса с точки зрения стоимости жизненного цикла продукции (PLC) или концепции материально-технического обеспечения по нормированным показателям конечного результата (PBL) можно создать более адекватную модель затрат. Понимание и использование атрибутов прямых и косвенных затрат на приобретение, эксплуатацию, обслуживание, технологическое обновление и отчуждение указанных активов позволяют получить точное представление о совокупной стоимости владения. В настоящем документе представлены связанные с тестовым оборудованием расходы PLC и PBL и рассматривается модель совокупной стоимости владения, которая может использоваться для выработки компромиссных решений.

Данный документ был впервые опубликован в материалах конференции IEEE AUTOTESTCON 2010.

Введение

Авторы:

Билл Лайсетт (Bill Lycette)

Отдел технического контроля

Дуэйн Лёвенштейн (Duane Lowenstein)

Менеджер, отдел анализа процедуры тестирования

Keysight Technologies, Inc.

На протяжении многих лет приобретение контрольно-измерительной аппаратуры считалось «неизбежным злом» на пути к обеспечению бездефектности выпускаемой электронной продукции. Несмотря на обилие причин для такого отношения в период бурного роста электронной промышленности в 70-е и 80-е годы прошлого столетия, наиболее существенным фактором стало отсутствие единого подхода при проектировании электронных устройств. Во многих случаях разработчики пользовались домашними табличными расчетами или использовали таблицы, разработанные ими для определения расчетных предельных параметров. По мере усложнения конструкции устройств в 90-е годы большинство разработчиков были вынуждены начать использовать профессиональные средства моделирования. Вскоре стало ясно, что правильно смоделированная конструкция сводит к минимуму различия в характеристиках между теоретической разработкой и реальным изделием. В результате использования моделирования в сочетании с освоением предприятиями-подрядчиками методов высококачественного производства выпуск годной продукции превысил 95 %. Тем не менее, остается ряд вопросов, которые требуют ответа. Если качество достигло столь высокого уровня, почему нам приходится так много платить за испытания и тестирование? Или лучше поставить вопрос так: «Какова реальная стоимость испытаний?»

В 90-е годы прошлого столетия, когда на рынке появились изделия сторонних разработчиков, а электронные устройства стали более функциональными и информационно-ориентированными, потребитель ожидал получить больше за меньше деньги: продукцию безукоризненного качества и в расширенном ассортименте. На производителя легло бремя поиска возможностей для сокращения расходов в условиях глобальной экономики, где каждый имел доступ к одним и тем же трудовым ресурсам, подрядчикам и средствам проектирования. В результате появился новый ориентир в организации закупок — совокупная стоимость владения (ТСО). Показатель ТСО впервые приобрел популярность среди пользователей оборудования для выпуска полупроводниковых устройств, которым пришлось признать, что решение о покупке охватывает нечто гораздо большее, чем начальная цена товара. Приобретение линии для производства полупроводниковых приборов могло обходиться в десятки миллионов долларов. Дальнейший анализ показал, что затраты, связанные с владением и эксплуатацией актива на протяжении всего срока его службы, могли существенно превысить затраты на его приобретение.

В настоящем документе представлена модель ТСО для контрольно-измерительной аппаратуры и наглядно описано, каким образом эксплуатационные расходы могут стать важнейшим фактором снижения совокупной стоимости владения помимо простого сокращения затрат на приобретение (стоимости основных средств). Концепция ТСО должна помочь собственникам оборудования принимать взвешенные решения о закупках и показать, как переменные составляющие ТСО могут коренным образом изменить стоимость владения применительно к контрольно-измерительной аппаратуре на протяжении жизненного цикла изделия.

Первоначально опубликовано в материалах конференции IEEE AUTOTESTCON 2010

Стоимость испытаний

На тему стоимости испытаний (CoT) написано множество работ. Несмотря на существование нескольких моделей, в фокусе которых находится стоимость испытаний, почти все эти методы имеют один недостаток, а именно: во всех из них расчет показателя CoT по состоянию на единственный момент времени. Иными словами, хотя в этих моделях и допускается принятие затрат на приобретение и их амортизация, начисляемая в течение нескольких лет, они, как правило, рассматривают другие виды затрат (такие как расходы на работы по планово-предупредительному и ремонтно-восстановительному обслуживанию) с точки зрения «средней» стоимости. По результатам изучения концепции материально-технического обеспечения по нормированным показателям конечного результата (PBL) нами выявлено, что стоимость продукта не носит линейного характера и ее количественное определение нельзя производить только в один момент времени. Примером этого могло бы стать рассмотрение амортизационных расходов и расходов на ремонт. В зависимости от используемого метода учета для большей части контрольно-измерительной аппаратуры амортизацию можно распределить на период от трех до пяти лет, с фиксированными или ускоренными списаниями. Однако при любом методе за пять лет происходит полная амортизация изделия. В течение указанного периода риск неисправности оборудования относительно низок, однако по истечении пяти лет он может стать существенно выше и продолжить расти по мере старения оборудования.

Таким образом, использование инструментария для определения стоимости испытаний может дать весьма разные результаты, в зависимости от того, в какой момент времени вы решите моделировать процессы эксплуатации. В 1-й год основной статьей затрат являются затраты на приобретение, тогда как во 2-й год факторы выполнения технического обслуживания и простоя оборудования должны были бы привести к росту расходов. Так на каких же цифрах следует остановить свой выбор? Наиболее точную цифру дал бы учет средних затрат на оборудование в течение ожидаемого срока полезного использования. В этом случае были бы предусмотрены самые разные расходы, сопутствующие старению оборудования.

Даже использование в модели CoT средних затрат дает неверные результаты для понимания сути показателя совокупной стоимости владения. Рассмотрим две производственные линии, на которых используется оборудование одного типа. Предположим, что обе модели CoT дают одинаковые результаты по стоимости, с той единственной разницей, что производительность одной линии ограничена, а производительность второй не имеет ограничений. При использовании модели CoT этот фактор обычно не сказывается на результатах расчетов. Напротив, наличие подобных ограничений должно было бы найти отражение в модели TCO за счет таких вводных, как надежность и время выполнения ремонтных работ. На линии с ограниченной производительностью любой простой должен был бы сказаться на объеме производства и, как следствие, — на выручке.

Рассмотрим другой сценарий, в рамках которого мы должны оборудовать новую производственную линию, выбрав для этого соответствующего производителя из числа двух компаний, выпускающих тестовое оборудование. Одна тестовая система может иметь более высокую закупочную цену и меньшую интенсивность отказов, а вторая — более низкую закупочную цену и более высокую интенсивность отказов. Поэтому, несмотря на то, что при использовании модели CoT предпочтение может быть отдано системе с наименьшей закупочной ценой, в случае принятия в учет при расчете стоимости покупки показателя TCO решение может быть принято в пользу первоначально более затратного варианта, чтобы приобрести более надежную систему. Ввиду большого количества различий в моделировании на основе показателей CoT и TCO предлагаются другие сценарии, в рамках которых эти два метода взаимно дополняют друг друга. Дело в том, что основой для глубокого понимания вопросов создания точной модели CoT на период жизненного цикла производства или сравнения двух разных единиц контрольно-измерительного оборудования с целью пролучения точной суммы затрат PBL становится показатель TCO. Рассмотрим факторы, лежащие в основе метода на основе показателя TCO.

Совокупная стоимость владения (ТСО)

Определение ТСО

ТСО означает совокупную стоимость владения и эксплуатации единицы оборудования в течение полезного срока службы этой единицы. Компанией Keysight разработана модель ТСО для контрольно-измерительного оборудования, состоящая из двух ключевых элементов капитальных (затрат на приобретение) и операционных затрат. Моделирование капитальных затрат носит в известной степени однозначный характер, и основным аспектом, в котором возможны отличия, является схема начисления амортизации. Капитальные затраты — это расходы (C_a) на приобретение и монтаж оборудования. Операционные затраты представляют собой категорию, допускающую значительно большую свободу действий с точки зрения того, что входит в модель ТСО и каким образом отображается состав издержек. В модели ТСО, представленной в настоящей работе, операционные затраты структурированы следующим образом:

- Планово-предупредительное техническое обслуживание – C_{pm}
- Ремонт – C_r
- Минимизация простоев – C_{dm}
- Технологическое обновление – C_{tr}
- Профессиональная подготовка и повышение квалификации – C_{te}
- Ликвидационная стоимость или стоимость утилизации – C_{rv}
- Сооружения и оборудование – C_f
- Прочее – C_o

Уравнение совокупной стоимости владения имеет следующий вид:

$$TCO = C_a + C_{pm} + C_r + C_{dm} + C_{tr} + C_{te} + C_{rv} + C_f + C_o$$

Состав затрат ТСО

Обычно самая большая доля затрат, связанных с планово-предупредительным техническим обслуживанием, приходится на калибровку и поверку оборудования (т. е. метрологию). В этом смысле продолжительность проведения калибровочного и поверочного циклов — это единственный и самый мощный рычаг, воздействуя на который можно сократить затраты на метрологические измерения. Другими важными переменными, помимо стоимости выполнения калибровки и поверки, являются общее время проведения (TAT) калибровки и поверки, затраты на материально-техническое обеспечение, а также ремонтные расходы, требующиеся для настройки прибора. Затраты на планово-предупредительное техническое обслуживание должны также включать в себя такие периодически планируемые работы, как профилактическая замена сборочных узлов, которые начинают демонстрировать признаки износа.

Ремонтные работы, иногда именуемые восстановительным обслуживанием, в общем случае предполагают связанные с внеплановым простоем обстоятельства, например, отказ оборудования. Для целей использования данной модели ТСО затраты на восстановительное обслуживание отражены в стоимости выполнения ремонта, повторной поверки и калибровки после ремонта, демонтажа, отгрузки, повторного монтажа (материально-технического обеспечения) и проверки работоспособности оборудования. Затраты на выполнение ремонта могут отражаться в рамках договора на выполнение ремонтных работ или, по желанию владельца, по каждому случаю отдельно. Годовые затраты на выполнение ремонта из расчета по каждому отдельному случаю моделируются как предполагаемая годовая величина, вычисляемая путем умножения затрат по каждому случаю на коэффициент вероятности отказа в течение одного года. Хотя на первый взгляд может показаться, что стратегия расчета «по каждому случаю» ориентирована на меньшую стоимость, необходимо также принять во внимание, что договор подряда на ремонтные работы обычно ведет к уменьшению общего времени выполнения ремонта и, как следствие, к сокращению простоев.

Для подтверждения того факта, что оборудование было недоступно для использования владельцем, должен применяться штраф со стоимости простоя. Это достигается путем подстановки переменной затратной составляющей, такой как переменная ставка еженедельной арендной платы, в уравнение расчета затрат, которое примет следующий вид: Издержки вследствие недоступности = (закупочная цена) \times (переменная ставка арендной платы) \times (общее время выполнения ремонта).

Ставки еженедельной арендной платы за оборудование для измерения эксплуатационных характеристик, как правило, составляют 2–5 % от закупочной цены.

Последствия возникновения обстоятельств, ведущих к внеплановому восстановительному обслуживанию, таких как отказ оборудования, для предприятия могут быть чрезвычайно затратными и даже носить катастрофический характер. Например, в число возможных последствий при выходе из строя тестовой системы в условиях крупносерийного производства или в среде внедрения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ входят падение объемов продаж и упущенные коммерческие возможности, что может обойтись предприятию в миллионы долларов. Ввиду того что количественное определение и прогнозирование последствий подобных событий представляется затруднительным, в модели TCO этот аспект состава затрат не ставится в категорию ремонтных расходов. Вместо этого указанные затраты из разряда «катастрофически» рассматриваются через мероприятия и стратегии, направленные на экономию расходов и собирательно именуемые в дальнейшем как мероприятия по «минимизации простоев». В качестве примера можно привести капиталовложения в оборудование с высокой степенью надежности, сокращение общего времени на выполнение ремонта и увеличение испытательных мощностей.

Технологическое обновление предполагает обстоятельства, когда владельцы оборудования намерены модернизировать свои активы до уровня изделий с расширенными метрологическими функциями или увеличенным быстродействием измерений. Как правило, основную долю в затратах на технологическое обновление продукта составляют инвестиции для обеспечения обратной и прямой совместимости нового оборудования в процессе испытаний. Затраты, связанные с разработкой и редактированием тестового кода для обеспечения совместимости в процессе испытаний, могут быть весьма значительными. Существуют также единовременные расходы, которые подлежат списанию применительно к парку установленного оборудования.

Объектные расходы включают в себя стоимость электроэнергии, расходуемой на эксплуатацию оборудования, и площади помещений для его размещения.

В конце срока эксплуатации проводится отчуждение актива путем его продажи, сдачи в счет погашения кредита или утилизации. В рамках модели TCO первые два варианта считаются отрицательными издержками. Из формулы расчета TCO видно, что высокая ликвидационная стоимость становится стратегическим преимуществом для поставщиков изделий высшего качества.

Среди прочих статей затрат в рамках модели TCO, которые предприятие может пожелать включить в расчет, — расходные материалы, такие как разъемы и кабели.

Минимизация катастрофических затрат вследствие простоев

Как упоминалось выше, связанные с внеплановым простоем обстоятельства (отказы оборудования) носят вероятностный характер и потенциально могут привести к катастрофически большим затратам для бизнеса. Это осложняет задачу по представлению точной и внушающей доверие оценки затрат. Более эффективным подходом в данной ситуации представляется разработка и внедрение оперативной стратегии, заключающейся в уменьшении (или устранении) последствий внепланового простоя. Системы инженерного обеспечения и управления предлагают на выбор ряд мер для минимизации простоев, в том числе:

- 1) высокую надежность
 - выбор изделия, которое обеспечивает надежность на качественно новом уровне.
- 2) сокращение общего времени на выполнение ремонта
 - выбор обслуживающей компанией с полным циклом услуг, предлагающей самые короткие сроки выполнения ремонта из возможных;
 - производство ремонтных работ на месте эксплуатации оборудования либо с привлечением обслуживающей компании, либо через создание такой возможности за счет внутренних резервов;
 - заключение договоров на техническое обслуживание с расширенной гарантией в целях сокращения или устранения задержек, связанных с материально-техническим обеспечением, административной и закупочной деятельностью.
- 3) дополнительные мощности
 - приобретение дополнительных испытательных мощностей для контроля производственного процесса и сохранение их в резерве;
 - покупка запасного оборудования;
 - покупка запасных частей (для компаний, выполняющих техническое обслуживание своими силами).

Изменение состава затрат ТСО в динамике

Некоторые факторы, задействованные в алгоритме расчета ТСО, приводят к тому, что со временем состав затрат меняется. Например, надежность оборудования (влияющая на затраты, связанные с выполнением ремонта и простоями), как правило, меняется в соответствии с классической U-образной кривой интенсивности отказов. Кривая характеризуется периодом пониженной интенсивности отказов (периодом приработки), за которым следует период в целом с постоянной интенсивностью отказов, а затем — период возросшей интенсивности отказов (износа). Электромеханические устройства в электронной измерительной аппаратуре подвержены износу. Еще одним фактором, вызывающим изменение затрат ТСО, является продолжительность выполнения калибровочного цикла (влияющая на затраты, связанные с метрологическими измерениями и планово-предупредительным обслуживанием). Для того, чтобы предприятия могли надлежащим образом планировать операционные расходы будущих периодов, важно проводить моделирование затрат ТСО в динамике, как показано на рисунке 1.

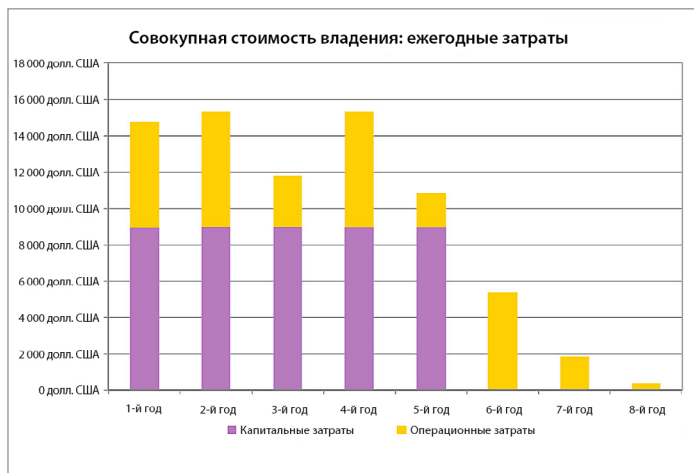


Рисунок 1. Совокупная стоимость владения в динамике.

Совокупная стоимость владения — это не только закупочная цена

Зачастую закупочная цена рассматривается в качестве единственной и наиболее важной составляющей затрат в формуле расчета ТСО. В самом деле, закупочная цена слишком часто выступает в формуле как единственный фактор. Рассмотрим один пример того, какое важное значение при расчете показателя ТСО имеют факторы производительности, метрологии и надежности.

Изделие А представляет собой испытательную систему с более высокой стоимостью. При цене в 100 000 долл. США система предлагает более высокую скорость измерений, увеличенный межкалибровочный интервал, повышенную надежность и лучшую совместимость кодов. Ввиду повышенной надежности Изделия А пользователь не испытывает затруднений, имея при этом в резерве меньшие испытательные мощности для предупреждения возникновения случаев внепланового простоя, таких как отказ оборудования (см. графу «Минимизация простоев» в приведенной ниже таблице). Кроме того, поставщик Изделия А выполняет ремонт на месте эксплуатации оборудования — услугу, которую поставщик Изделия В предложить не может. Надбавка в цене обусловлена наличием договора на обслуживание по месту установки оборудования, однако общее время выполнения ремонта по сравнению с договором с полным циклом услуг значительно сокращается.

Изделие В не может сравниться по многим из связанных с владением факторов, но закупочная цена изделия на 25 % ниже. С точки зрения принятых в отрасли правил, считается, что Изделие А обладает более высокой внутренней стоимостью, и это выражается в увеличении ликвидационной стоимости на открытом рынке.

В таблице 1 представлен сводный обзор ключевых отличий факторов владения.

Таблица 1.

	Изделие А	Изделие В
Закупочная цена	100 000 долл. США	75 000 долл. США
Время тестирования одного ТУ (с)	75	100
Производительность (количество ТУ в неделю)	4400	3300
Межкалибровочный интервал (количество лет)	2	1
Годовой показатель интенсивности отказов	8 %	13 %
Годовые расходы на ремонтные работы по договору	2200 долл. США	1300 долл. США
Время простоя при проведении ремонтных работ (количество дней)	2,0	30,0
Минимизация простоев (резервные мощности)	4 %	7 %
Затраты на разработку кодов	10 000 долл. США	50 000 долл. США
Ликвидационная стоимость	25 000 долл. США	10 000 долл. США

В условиях производства тестовое оборудование работает 96 часов в неделю. Срок службы оборудования составляет восемь лет, амортизация проводится по методу равномерного списания в течение пяти лет. Штраф со стоимости простоя (4 % закупочной цены в неделю) устанавливается для отражения затрат, связанных с недоступностью оборудования для использования во время ремонта, поверки, калибровки или других работ в рамках планово-предупредительного обслуживания. Амортизация расходов на разработку программного обеспечения испытаний с обеспечением совместимости кодов проводится для всего парка установленного оборудования в количестве 20 тестовых систем.

По результатам анализа ТСО, затраты в течение срока службы, связанные с владением и эксплуатацией Изделия А, составляют 137 000 долл. США, по сравнению с затратами в течение срока службы для Изделия В, которые составляют 160 000 долл. США. Привлекательность варианта с Изделием А становится еще более убедительной, если принять во внимание его преимущество в быстродействии. Показатель ТСО для Изделия А равен 10,1 цента на одно протестированное устройство по сравнению с аналогичным показателем для Изделия В, который составляет 14,8 цента на одно протестированное устройство (см. рисунок 2). Помимо того, что Изделие А характеризуется меньшими общими операционными расходами, капитальные затраты, связанные с Изделием А, также ниже, чем для Изделия В, при нормализации затрат по количеству протестированных устройств.

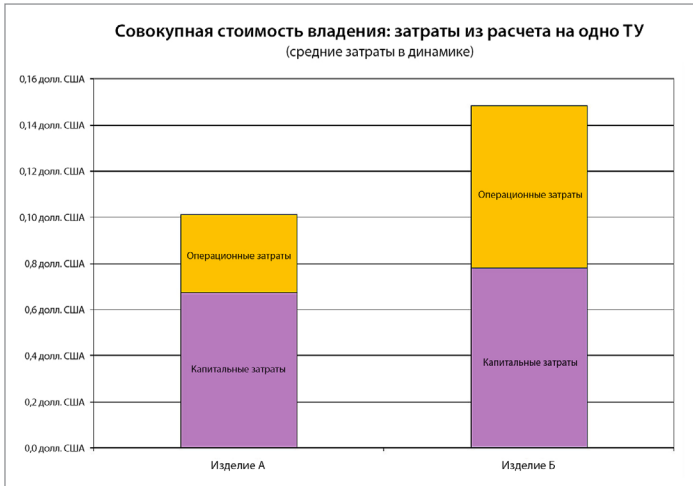


Рисунок 2. Показатель TCO, представленный на основе расчета затрат на одно протестированное устройство (ТУ).

Интересно понять ключевые отличия в операционных расходах. На рисунке 3 видно, что затраты на метрологические измерения и ремонтные работы являются двумя основными факторами, определяющими обнаруженные различия в операционных расходах для Изделия А и Изделия В. Более длительный межкалибровочный интервал, характерный для Изделия А, является единственным и самым мощным рычагом воздействия, что нашло отражение в меньших затратах на выполнение метрологических измерений. Меньшие затраты на ремонт, представленные для Изделия А, являются следствием более высокого уровня надежности и сокращения простоев, возникающих во время ремонтных работ. По сути, эти два фактора практически сводят на нет более низкую стоимость ремонта по договору, предлагаемую Изделием В.

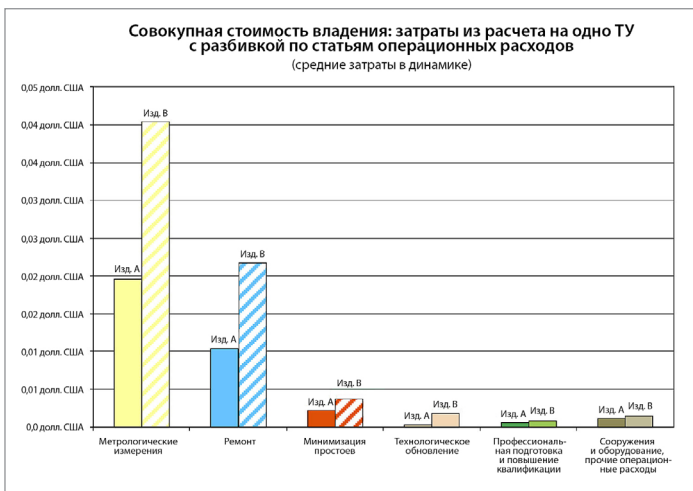


Рисунок 3. Операционные расходы, представленные на основе расчета затрат на одно протестированное устройство (ТУ).

Заключение

В настоящей работе представлен сравнительный анализ моделей расчета стоимости испытаний и совокупной стоимости владения с указанием отличий между ними. Несмотря на взаимодополняющий характер и частичное совпадение обеих методик, один из недостатков модели расчета стоимости испытаний заключается в том, что она используется, как правило, для вычисления затрат в один момент времени. Представленная здесь методика расчета TCO позволяет ликвидировать этот недостаток, предлагая модель расчета стоимости ключевых факторов владения на протяжении всего срока службы оборудования.

По мере того как технологии утрачивают роль ведущего фактора, определяющего различия между конкурирующими предприятиями, а отделы закупок стараются принимать решения, исходя преимущественно из стоимости приобретения, понимание сути показателя стоимости владения становится еще более важным для достижения коммерческого успеха. Меньшая стоимость начальных капиталовложений на приобретение основных средств не обязательно трансформируется в меньшую сумму общих затрат, связанных с владением и эксплуатацией единицы оборудования в течение полезного срока ее службы, и, следовательно, не означает снижения стоимости испытаний выпускаемых изделий.

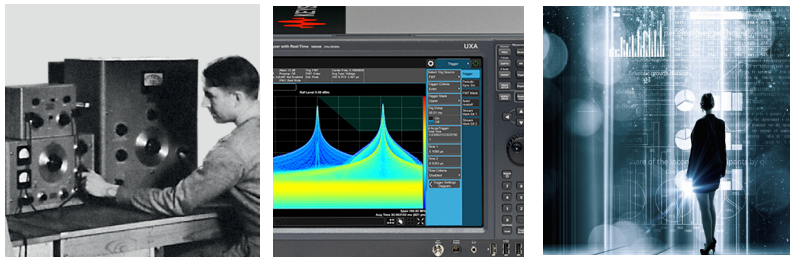
Справочная литература

- [1] *Total Cost of Ownership Models: An Exploratory Study*, Bruce G. Ferrin and Richard E. Plank, *Journal of Supply Chain Management*, Summer 2002, pp. 18–29.
- [2] *Using Availability Analysis to Reduce Total Cost of Ownership*, Bill Lycette, *Journal of the Reliability Information Analysis Center*, Second Quarter, 2010, pp. 10–15.
- [3] *Uncovering the Total Cost of Ownership of Storage Management*, Mark Buczynski, *Computer Technology Review*, January 2002, pp. 45–446.

Постоянное движение вперед

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, знаний и опыта наших инженеров позволит вам воплотить в жизнь новые идеи.

Мы открываем двери в мир технологий будущего.



От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight

Российское отделение Keysight Technologies

115054, Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3
Тел.: +7 (495) 7973954
8 800 500 9286
(Звонок по России бесплатный)
Факс: +7 (495) 7973902
E-mail: tmo_russia@keysight.com
www.keysight.ru

Сервисный Центр Keysight Technologies в России

115054, Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3
Тел.: +7 (495) 7973930
Факс: +7 (495) 7973901
E-mail: tmo_russia@keysight.com
(BP-12-14-16)

myKeysight

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
Персонализированное отображение интересующей вас информации.

KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

Услуги Keysight
www.keysight.com/find/service
Для того чтобы создать передовые решения в области разработки, тестирования и измерений, мы привлекаем лучших в отрасли специалистов, применяем самые совершенные инструменты и процессы. Мы помогаем своим заказчикам внедрять новые технологии и процессы, позволяющие снизить затраты.



Трехлетняя гарантия
www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty
Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение совокупной стоимости владения. Keysight — это единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предоставляет стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование и во всех странах мира. Также мы предоставляем годовую гарантию на многие принадлежности, калибровочные устройства, системы и изделия, изготовленные на заказ.



Планы технической поддержки Keysight
www.keysight.com/find/AssurancePlans
До десяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight
www.keysight.com/find/channelpartners
Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

Первоначально опубликовано в материалах конференции IEEE AUTOTESTCON 2010

www.keysight.com/find/techrefresh



www.keysight.com/go/quality
Keysight Technologies, Inc.
Сертифицировано DEKRA на соответствие стандарту ISO 9001:2015
Система управления качеством