

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРОВ В ОБТЕКАТЕЛЯХ И БАМПЕРАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ РАДАРОВ

Автономные и полуавтономные транспортные средства работают на основе сложной программно-аппаратной архитектуры, которая собирает и использует данные от многочисленных радиолокационных датчиков. Для генерирования надежных данных датчики должны иметь беспрепятственный обзор окружающей среды. Расположенные перед датчиками бамперы или обтекатели не должны нарушать работу радаров. Чтобы гарантировать это, используемые пластмассовые детали и их полимерная подложка подвергаются тщательным испытаниям. Прибор R&S®QAR50 идеально подходит для определения характеристик полимерных материалов и их влияний на качество радиолокационного сигнала на ранней стадии проектирования, а также в рамках контроля качества при разработке материалов.

Измерительная задача

Области применения

Для оптимизации состава полимеров, используемых в бамперах и обтекателях, требуется решение разнообразных задач. Например, материал должен обеспечивать сбалансированное сочетание таких факторов, как легкость конструкции, привлекательный внешний вид, функциональность и свобода оформления. По мере увеличения количества радаров в автомобилях характеристики полимеров, используемых для изготовления бамперов и обтекателей, становятся ключевым фактором в общей эффективности радиолокации и приводят к появлению новых требований. Отражения и рассогласования материала вызывают отражения между радаром и бампером или обтекателем, что ведет к «ослеплению» датчика и появлению фантомных целей. В связи с этим необходимо оптимизировать состав полимеров, применяемых снаружи автомобиля, чтобы с самого начала гарантировать их прозрачность для радаров (см. рис. 1).

Для этого следует знать, каким образом конкретный полимер отражает, пропускает и/или поглощает ВЧ-энергию в диапазоне частот автомобильных радаров.

Как правило, в ходе измерений в первую очередь определяется диэлектрическая проницаемость материала. В общих словах, диэлектрическая проницаемость характеризует сжатие длин волны передаваемого сигнала внутри материала. Идеальная толщина материала всегда соответствует значению, кратному половине длины волны внутри материала. Это обусловлено гашением отражений по причине полной интерференции в точках перехода между воздухом и материалом.

Для определения относительной диэлектрической проницаемости (ϵ_r) необходимо знать электрическую толщину образца материала. Значение ϵ_r определяется после расчета резонансной частоты (см. следующую страницу).

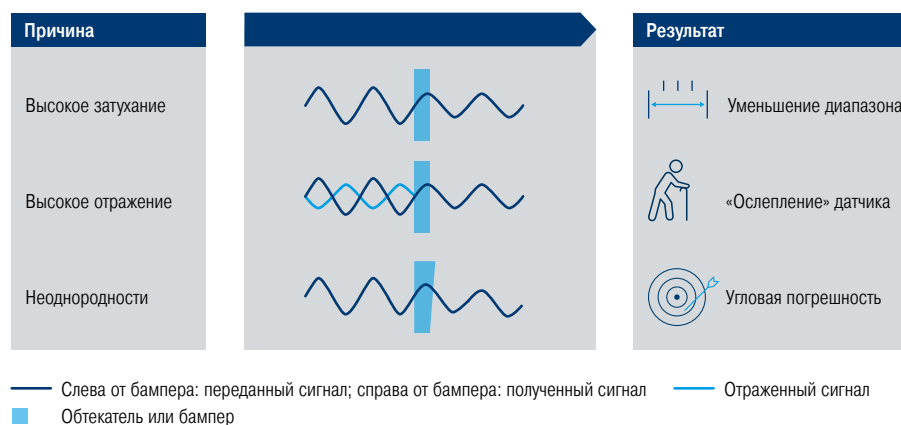


Рис. 1 Влияние характеристик полимеров на работу радара

$$\varepsilon_r = \left(\frac{c_0}{2f_R d} n \right)^2$$

c_0 : Скорость света

f_R : Расчетная резонансная частота материала

d : Толщина материала

Ввиду различных углов прихода радиолокационного сигнала в указанную выше формулу необходимо добавить поправку. Формула расчета относительной диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon_r = \left(\frac{c_0}{2f_R d} n \right)^2 + \sin^2 \vartheta_i$$

Поправка включает в себя величину ϑ_i — средний угол прихода сигнала. Она соответствует количеству полудлин волн в материале.

Если электрическая толщина образца равна 2λ относительная диэлектрическая проницаемость рассчитывается следующим образом:

$$f_R = \frac{c_0}{d\sqrt{\varepsilon_r}} \Rightarrow \varepsilon_r = \left(\frac{c_0}{f_R d} \right)^2 + \sin^2 \vartheta_i$$

Производители материалов могут оптимизировать величину ε_r и точность минимальных значений потерь при отражении и передаче. Для этого во время разработки необходимо непрерывно контролировать диэлектрическую проницаемость и определять минимальные значения потерь при отражении и передаче. Эта стандартизированная процедура также допускает оптимизацию влияния многослойных систем (например, с окраской) в рамках итеративного процесса, чтобы избежать отрицательных взаимодействий между радаром и бампером или обтекателем на раннем этапе проектирования (см. рис. 2).

Сложности

Наиболее простым способом определения характеристик материала является использование листа диэлектрического материала с толщиной d и диэлектрической проницаемостью ε_r . Более сложные методы предусматривают работу с многослойными материалами с различной толщиной и различными параметрами (например, полимеры, поглотители, пеноматериалы или краски). При этом процедура определения характеристик существенно усложняется ввиду толщины отдельных слоев и возможных воздушных зазоров (см. рис. 3 и 4).

Рис. 2 Влияние полимеров на передачу и отражение радиолокационного сигнала



В частности, металлизированные краски зачастую вносят различные коэффициенты неопределенности. Металлические пигменты выступают в роли проводников с электронами, разделенными диэлектриком. Под действием электромагнитных волн электроны начинают раскачиваться внутри металла, приводя к поляризации поверхности и существенному увеличению диэлектрической проницаемости (см. рис 5).

Рис. 3 Влияние толщины материала на значения потерь при отражении и передаче для однослойных обтекателей

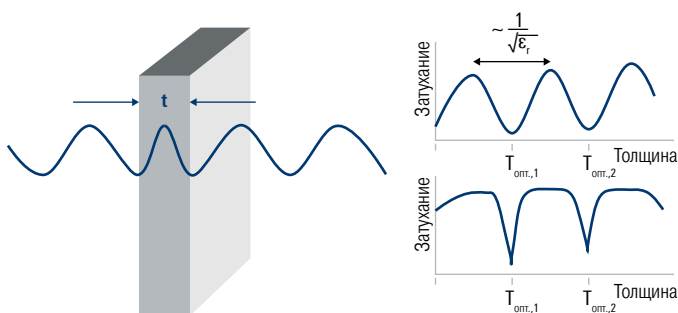
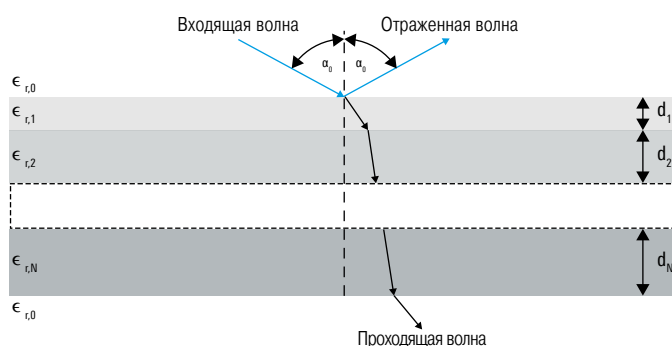
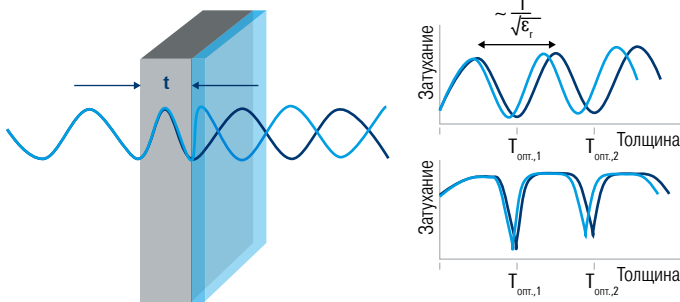


Рис. 4 Анализ измерений потерь при передаче для одно- и многослойных обтекателей

а) Многослойный обтекатель



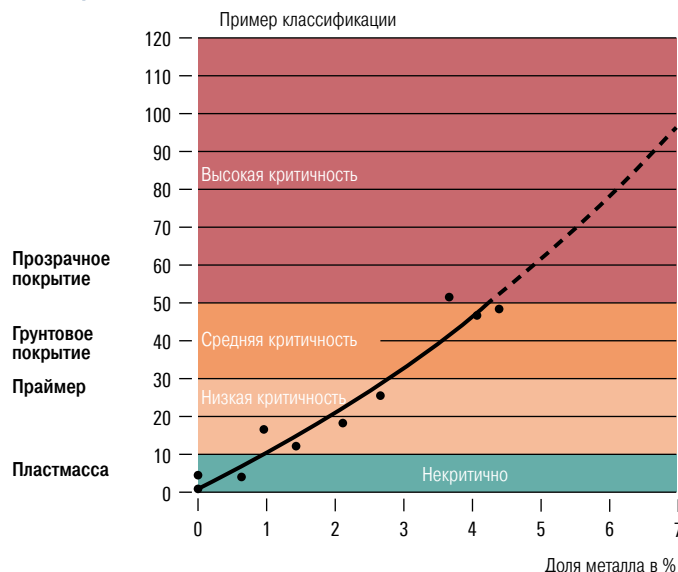
б) Однослойный обтекатель (голубая форма сигнала показывает сжатие и повышенное затухание входящей волны по причине дополнительного покрытия — по сравнению с исходной синей формой сигнала без влияния покрытия)



Поскольку требуется повторение всех перечисленных выше операций в быстрой последовательности, необходимо реализовать простой метод измерения с надежными результатами.

Здесь применение ВЧ-сигналов в целях проведения измерений материалов дает ряд важных преимуществ. Первое и главное преимущество заключается в том, что данный подход позволяет проводить неразрушающие испытания материалов. Во многих случаях определение характеристик материала желательно без его разрушения. Еще одно важное преимущество заключается в том, что ВЧ-сигналы позволяют проводить измерения материалов во время различных физических, механических, термических или химических воздействий на материал. Измерения материалов с помощью ВЧ-сигналов сводятся к определению относительной диэлектрической проницаемости материала.

Рис. 5 Влияние красок и покрытий на толщину материала бампера



Традиционный подход	Подход Rohde & Schwarz
Требования: - Векторный анализатор цепей 2 преобразователя частоты для диапазона частот E 2 рупорные антенны - ВЧ-кабели - Комплект для калибровки	Требования: - Тестер качества автомобильных обтекателей R&S®QAR50 - Комплект для верификации R&S®QAR50-Z44 (отслеживание согласно национальным стандартам)
Дорогостоящее и сложное оборудование для ВЧ-измерений	Экономичность и простота в обращении
Сложная процедура измерений с длительным временем калибровки и измерения	Результаты измерений доступны через менее чем 4 с
Требуется обученный инженер-радиотехник	Предварительные знания по радиотехнике не требуются
Пригодность для НИОКР	Пригодность для НИОКР и производства

Для определения относительной диэлектрической проницаемости можно использовать векторный анализатор цепей. Векторный анализатор цепей измеряет передачу и отражение описываемым далее способом. Подробнее см. документ, указанный на стр. 5 данного руководства по применению.

Одним из методов неразрушающих испытаний является метод свободного пространства, т.к. он пригоден для высокочастотного диапазона радаров 76 ГГц. Для работы в этом диапазоне частот требуется система, состоящая из векторного анализатора цепей и комплекта для калибровки. Ввиду сложности конфигурации требуются глубокие знания о работе с векторными анализаторами цепей, чтобы гарантировать точность и повторяемость результатов. Векторные анализаторы цепей проводят измерения в избранных точках, поэтому малейшее отклонение угла оказывает огромное влияние на измеренные значения. Еще одно ограничение: образец материала должен быть относительно крупным и плоским, чтобы обеспечивалось его правильное освещение антеннами.

Решение компании Rohde & Schwarz

Ввиду растущей важности измерения характеристик полимеров, используемых в наружных компонентах автомобилей, компания Rohde & Schwarz разработала тестер качества автомобильных обтекателей R&S®QAR50.

R&S®QAR50 идеально подходит для проведения точных испытаний качества обтекателей и бамперов в диапазоне частот автомобильных радаров на всех этапах жизненного цикла продукции — от НИОКР до испытаний в конце производственной линии. В данном решении используются сотни приемных и передающих антенн для быстрого определения характеристик материалов, обтекателей и бамперов. Технология СВЧ-визуализации с электронной фокусировкой позволяет более гибко располагать испытываемое устройство. Тестер R&S®QAR50 предлагается с двумя кластерами антенн и настраиваемыми диапазонами частот. Он измеряет потери при передаче в одном направлении, отражение с обеих сторон (относительно верхнего и нижнего кластера) и фазу передачи — и всё это в рамках измерительного цикла длительностью менее 4 секунд. Результаты можно напрямую сравнивать с результатами, полученными по методу свободного пространства с помощью векторного анализатора цепей (см. таблицу).

Измерительная установка

Процедура определения характеристик материала включает в себя следующие этапы:

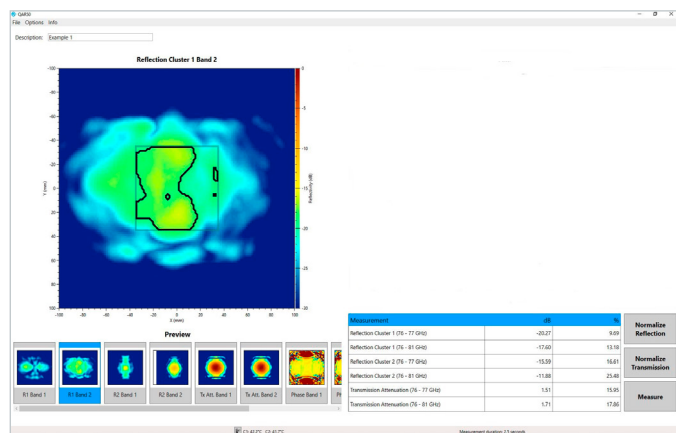
- ▶ Измерение физической толщины d
- ▶ Размещение образца внутри R&S®QAR50
- ▶ Выполнение измерений
- ▶ Расчет относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r с помощью сценария MATLAB® (возможна простая автоматизация)

При исследовании влияния покрытия или грунтовки на характеристики передачи и отражения испытуемого образца добавление верхнего слоя покрытия может привести к существенному ухудшению обоих показателей. В связи с этим рекомендуется также проводить измерения после нанесения окончательной окраски.

Настройка прибора

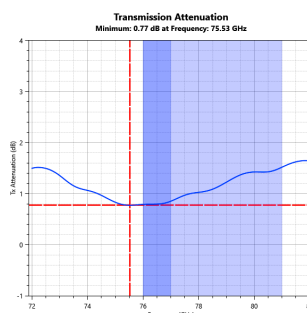
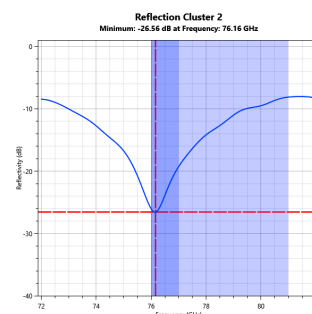
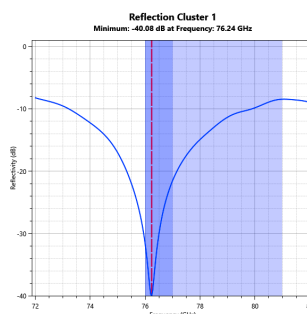
Благодаря наличию двух кластеров тестер R&S®QAR50 в стандартной конфигурации измеряет потери при отражении и передаче в одном направлении относительно верхнего и нижнего кластера — одновременно в диапазонах 76–77 ГГц и 76–81 ГГц (диапазоны 1 и 2).

При определении характеристик полимеров в пользовательском интерфейсе наглядно отображается вся необходимая информация. Благодаря упрощенной структуре меню для работы с тестером обтекателей не требуются глубокие знания по радиотехнике. На экране тестера выводятся числовые значения измеренных потерь при отражении и передаче, а также отображается информация о расположении испытуемого устройства. Это позволяет легко анализировать результаты измерений без наличия глубоких знаний по радиотехнике.



R&S®QAR50 измеряет средние значения потерь при отражении и передаче для диапазонов частот 1 и 2 для определенного участка испытуемого образца и выводит эти значения в числовом виде.

Для определения относительной диэлектрической проницаемости требуется отображение потерь при отражении и передаче в зависимости от частоты в диапазоне автомобильного радара. Опция R&S®QAR50-K10 отображает частотную характеристику потерь при отражении и передаче в диапазоне частот от 72 ГГц до 82 ГГц.

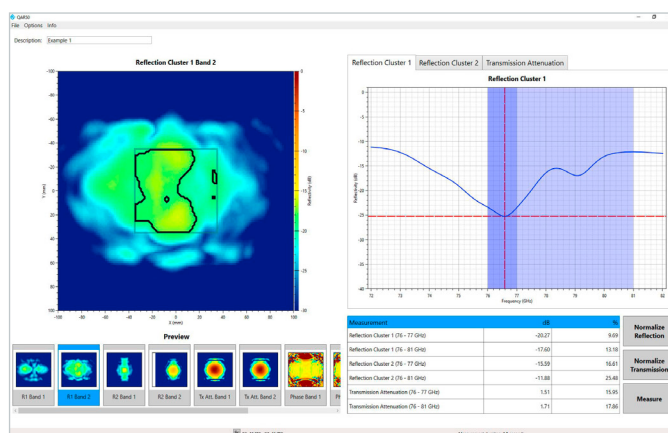


Опция R&S®QAR50-K10 обеспечивает работу в диапазоне частот от 72 ГГц до 82 ГГц и отображает частотную характеристику измеренных потерь при отражении и передаче.

Результаты измерений

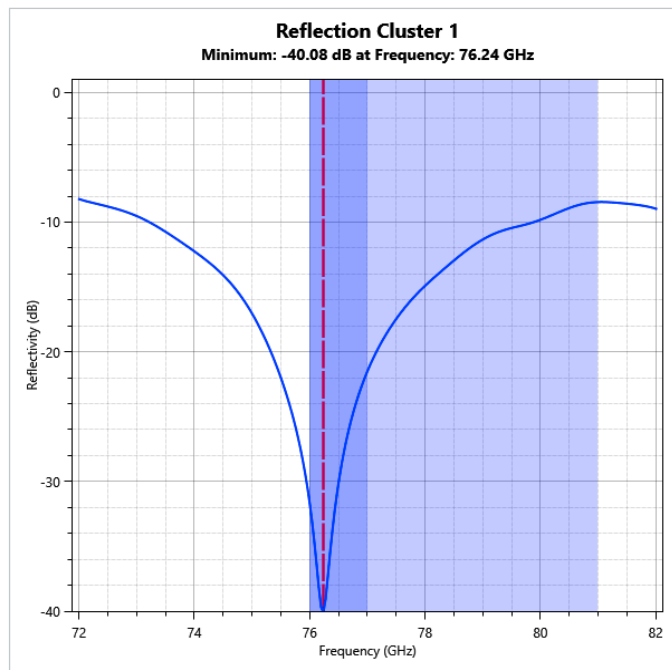
Благодаря своей мощной вычислительной схеме тестер R&S®QAR50 способен обрабатывать большие объемы данных за короткое время. Для построения изображений и частотных графиков требуется всего несколько секунд. В зависимости от выбранных параметров и сохраняемых данных время цикла может составлять менее 4 секунд.

Ввиду измеряемых параметров прибор отличается высокой точностью, надежностью и прочностью. По этой причине тестер качества автомобильных обтекателей R&S®QAR50 фактически измеряет отражения вместо их расчета. Расчет отражений на основе значений фазы передачи и потерь при передаче теоретически возможен, однако он приводит к неточностям и очень подвержен ошибкам. Отражения оказывают существенное влияние на работу радаров, размещаемых на обтекателях и бамперах, поэтому здесь критически важна максимальная точность.



Прибор R&S®QAR50 с опцией R&S®QAR50-K10 отображает потери при отражении и передаче и частотную характеристику для двух показателей.

На полученных графиках изображена частотная характеристика отражающей способности испытуемого устройства (уровень), при этом уровень отображается в дБ в определенном диапазоне частот. Тестер R&S®QAR50 анализирует полученные значения уровня в пределах и вблизи типичных диапазонов радаров. Графики составляются для измерений потерь при отражении и передаче. На этих графиках по оси X откладывается частота, а по оси Y — уровень отражающей способности. Масштаб можно изменять.



Синяя линия: измеренная кривая

Красная пунктирная линия: индикатор минимума кривой

Сиреневый участок: индикатор диапазона частот радара

В идеальном случае минимум частотной характеристики расположен в пределах рабочего диапазона частот радиолокационного датчика, используемого вместе с испытуемым устройством. Смещение минимума указывает на проблемы с электрической толщиной испытуемого устройства и необходимость внесения изменений.

Расчет относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r с $f_R = 76,24$ ГГц:

$$f_R = \frac{c_0}{d\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\epsilon_r = \left(\frac{c_0}{df_R}\right)^2 \quad (+ \sin \vartheta_i^2 \text{ excluded as } \sin 180^\circ = 0)$$

$$\epsilon_r = \left(\frac{299,8 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 76,24 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{s}}}\right)^2$$

$$\epsilon_r \sim 2,47$$

Чтобы гарантировать высокую точность и повторяемость измерений, необходимо регулярно проверять рабочие характеристики тестера. Комплект для верификации R&S®QAR50-Z44 позволяет легко проверить показатели тестера R&S®QAR50 при измерении потерь при отражении и передаче. Не имеющий аналогов комплект для верификации R&S®QAR50-Z44 обеспечивает отслеживание согласно национальным и международным стандартам.



Комплект для верификации R&S®QAR-Z44, отслеживание согласно национальным и международным стандартам.

Заклучение

Испытания и оптимизация характеристик обтекателей и бамперов в ходе проектирования и проверки используемых материалов представляют собой очень сложную, дорогостоящую и трудоемкую процедуру. Поэтому испытания и валидация ВЧ-характеристик полимеров, как правило, проводятся химическими предприятиями до придания компонентам требуемой формы.

В данной статье описывается более быстрый и простой метод определения и оптимизации характеристик материалов на ранней стадии. Стандартизированный метод определения диэлектрической проницаемости радаров можно интегрировать в процедуру контроля качества. Таким образом обеспечивается своевременная проверка качества материалов, что позволяет избежать высоких затрат на последующих этапах проектирования.

Тестер R&S®QAR50 идеально подходит для точного определения характеристик полимеров и их потенциального влияния на работу автомобильных радаров в соответствующем диапазоне частот на всех этапах жизненного цикла продукции — от НИОКР до испытаний в конце производственной линии. Благодаря своей инновационной концепции прибор отличается простотой в обращении и очень малым временем измерений. Для проведения измерений с помощью наглядного пользовательского интерфейса не требуются специальные знания по радиотехнике или СВЧ-технологиям.

См. также

- Измерение характеристик диэлектрических материалов; руководство по применению RAC-0607-0019
- Основы векторного анализа цепей; автор: Михаэль Хибель

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА

Обозначение	Тип	Код заказа
Шаг 1: выберите модель R&S®QAR50		
Тестер качества обтекателей, вертикальная поляризация	R&S®QAR50	1343.0099K02 1343.0099.02
Тестер качества обтекателей, горизонтальная поляризация	R&S®QAR50	1343.0099K03 1343.0099.03
Шаг 2: выберите программные опции и принадлежности		
Опции		
Измерение частотной характеристики	R&S®QAR50-K10	1343.2091.02
Анализ однородности (фазовая маска)	R&S®QAR50-K20	1343.2110.02
Изображение с высоким разрешением (отражения)	R&S®QAR50-K30	1343.2133.02
Принадлежности		
Комплект для верификации	R&S®QAR50-Z44	1343.0082.02
Шаг 3: выберите соглашение об уровне обслуживания (SLA)		
Базовое	► Ремонт в течение 10 рабочих дней	
Стандартное	► Отправка запчастей со склада Rohde & Schwarz в течение 3 дней	
Расширенное	► Запчасти Rohde & Schwarz на месте эксплуатации	
	► Ремонт неисправной панели в течение 10 рабочих дней	
Премиальное	► Запчасти Rohde & Schwarz на месте эксплуатации	
	► Отправка запчастей со склада Rohde & Schwarz в течение 3 дней в целях предотвращения сбоя всей системы	