

«Комбинация» CERT – форсаж отказов В ПОЛЯХ ИСПЫТАНИЙ

Текст: Анатолий Лютов
Иван Суходольский

”

«Мы привыкли к тому, что с каждым годом вещи становятся лучше: каждый год мы покупаем телефон лучше, чем предыдущий, лучший ноутбук. Мы ждем, что новая модель автомобиля будет лучше, чем прошлогодняя. Но в космосе это не работает: надежность и стоимость — фундаментальные параметры транспорта — не улучшились».

Илон Маск, основатель и владелец SpaceX;
главный разработчик и глава совета директоров
Tesla Inc.

На горизонте 5-10 лет человечество живет ускоренными темпами: для нас стало привычным отфильтровывать информацию, полученную через интернет; мы готовимся к Индустрии 4.0; космический туризм, электрокары и сверхзвуковой транспорт уже не кажутся вымышленным миром из произведений Азимова.

Все изобретения человечества перед выходом в свет должны проходить жесточайшую проверку и временем, и испытаниями. Надежность и безопасность выпускаемых изделий является основополагающим критерием отбора до начала его серийного выпуска.

Что такое CERT

Большинство отказов оборудования при эксплуатации является результатом воздействия окружающей среды на внутренние характеристики продукта. Быстро и дешево обнаружить такое воздействие – это огромная проблема. Один из способов решения такой задачи – проведение комбинированных ускоренных испытаний (CERT – combined environment reliability test). При проведении данного теста условия окружающей среды для использования продукта и его характеристики рассматриваются заранее, при этом выдвигаются гипотезы возможных отказов. Вероятность отказа после первого рассмотрения значительно снижается.

Испытания на внешние воздействующие факторы (ВВФ) зависят от следующих параметров: диапазон, количество, скорость изменения воздействующего фактора и количество циклов воздействия. При независимых ускоренных испытаниях, увеличивая сложность тестирования, можно ускорить ход испытания от 3 до 5 раз. При CERT-испытаниях два или более окружающих фактора объединяются для ускорения каждого из них в 3-5 раз, производя итоговое ускорение десятки или сотни

раз. Сочетание внешних воздействующих факторов не только ускоряет поиск отказов по каждому из факторов, но и позволяет найти совершенно новые причины отказа оборудования.

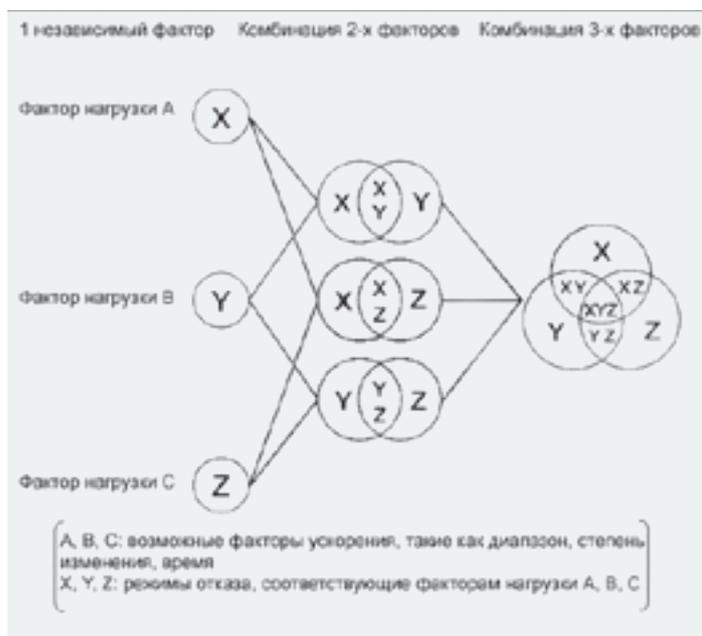
На рис. 1 показаны типы отказов, полученные путем сочетания различных воздействующих факторов. В реальных условиях результаты испытаний не так просты, как они представлены на рисунке, но можно увидеть, что X, Y и Z соответствуют независимым внешним факторам A, B, и C при поочередном воздействии. Сочетание двух внешних факторов создает новые типы отказов XY, XZ и YZ, сочетание которых создает дополнительный вид XYZ. Комбинированная среда ABC воссоздает наиболее реальные условия, чем это делают независимые среды. CERT-испытания помогут достичь высоких результатов путем прогнозирования режимов отказа и проведения испытаний в соответствии с механизмами отказа.

CERT-испытания проводят для достижения следующих целей:

- Создание среды максимально точно обеспечивающей воспроизведение условий внешних воздействий, которым продукт подвергается в течение своего жизненного цикла для последующего измерения и/или разработки, для повышения надежности при этих условиях нагружения.
- Поиск истинного соотношения между надежностью при проведении испытаний и надежностью при эксплуатации изделия.
- Разработка программ испытаний, позволяющих реализовать ускоренные испытания при более высоких нагрузках, чем при эксплуатации, сокращение времени тестирования при объединении факторов.
- Разработка условий, при которых реализуется эксплуатация продукта в реальных условиях, и оценка внешних воздействующих факторов, влияющих на продукт.
- Возможность воспроизведения комбинированных режимов, при которых возникает отказ изделия, вызванный сочетанием стресс-факторов. Упреждающие мероприятия по исправлению дефектов.

Текущие CERT-испытания позволяют независимо и/или одновременно тестировать стресс-факторы A, B, C, D и E и воспроизводить комбинированное воздействие этих факторов в соответствии с реальными условиями.

В настоящее время у ESPEC (TABA) нет оборудования, которое может воспроизводить одновременное воздействие всех пяти факторов ABCDE. Большинство единиц оборудования воспроизводит только воздействие факторов ABCD и ABCE (взяв за основу ABC и добавляя воздействие высоты или солнечных лучей). Основные направления в тестировании: ABCDE – для космической техники, ABCD – для авиационной и космической тех-



1 Типы отказов при комбинированных нагрузках



2
Термовлагодбарокамера Espec

ники, АВСЕ – для автомобилей, сотовых и портативного оборудования.

На рис. 2 представлена камера ESPEC для комбинированных испытаний на надежность при воздействии окружающей среды.

Противники проведения подобных тестов дают ссылки на отсутствие в ГОСТах и нормативной документации требований по проведению комбинированных испытаний на температуру, влажность и вибрацию – это основной козырь в руках производителей изделий. «Зачем тратить деньги на дорогие методы испытаний, если у меня серийное изделие для авиакосмической промышленности, которое всю жизнь не сбило?»

Обратимся еще раз к механизму отказа: одиночный внешний воздействующий фактор может не вскрыть возникающий дефект, поскольку природа его возникновения заключена в реальных условиях воздействий на изделие.

А что же будет делать производитель при разработке и модернизации прорывных изделий и технологий? Важно понимать, что при разработке ноу-хау или модернизации ответственных изделий и узлов необходимо проводить комбинированные испытания, чтобы при запуске пилотной партии или при производстве опытного образца можно было исправить и устранить дефекты, которые возникли при разработке.

Рассмотрим типовые случаи, с которыми сталкиваются при проведении испытаний таких изделий.

Кейс #1

Законодатель технологических новинок в области электрокаров компания Tesla Motors быстрыми темпами из года в год выводит новые модели на рынок, занимая лидирующее положение в автоиндустрии в сегменте электрокаров (рис. 3). Возможно ли вывести концептуально новую модель автомобиля за один год? Насколько реально провести ускоренные испытания изделий, не теряя при этом в надежности и безопасности?



3
Электрокар Tesla Model S

Испытания новых автомобилей проходят как на полигонах, так и в испытательных центрах. В реальных условиях происходит воздействие следующих факторов:

- холод (температура);
- влажность;
- имитация движения и ударов (вибрация);
- солнце (солнечное воздействие);
- горная высота (давление).

На ландшафте и в условиях горного рельефа все пять факторов совместить можно, для этого и проводят полевые финальные испытания. Как быть, когда нужно определить воздействие этих же факторов на отдельные узлы и изделия?

Кейс #2

Ударостойкие мобильные телефоны как и спецтехника работают в экстремальных условиях. Для таких моделей проводят многофакторные испытания на следующие ВВФ:

- соль;
- пыль;
- вибрация и удар;
- тепло и холод;
- высотные испытания;



4
Мобильный телефон

- дождевание (IP-классы, включая погружение);
- растяжение-сжатие, кручение.

Пренебрежение всего одним из этих факторов может сослужить плохую службу производителю. Что подразумевается под этим? Аппарат (рис. 4), не прошедший испытания на дождевание, рискует сломаться, если вы попали под дождь. Дефекты аккумуляторов телефонов при производстве могут быть не обнаружены, если не проводились испытания на сжатие и кручение.

Рассмотрим более детально возможности CERT при испытании этих продуктов (рис. 5).

Как выявить сбои и зависят ли они от условий испытаний?

Даже в одном и том же продукте можно обнаружить большие различия в безотказности и надежности в зависимости от условий окружающей среды, производственных условий и характеристик состава продукта.

Отказ может быть вызван такими факторами, как тепло, ток, напряжение, электрическое поле, которые сосредоточены в конкретных областях продукта, либо изменениями или прерываниями этих концентраций наряду с характеристиками (материалы, компоненты, производственные процессы и структура изделия), присущими процессам разработки и производства изделия. Этот сложный процесс, приводящий к отказу, означает, что необходимо изучить условия проведения испытаний с позиции характеристик продукта и составить соответствующий профиль CERT.

Тестовый профиль является специфическим для конкретного продукта. Поэтому если профиль испытаний не пересматривается при изменении продукта, сбоя, вызванный неправильным применением методик, создает риск ошибочного результата еще на стадии проектирования, что и приводит к появлению совершенно неожиданных отказов в полевых условиях.

Значение CERT для защиты от неожиданного сбоя

При детальном исследовании становится понятно, что возникший неожиданный отказ был вполне предсказуемым, и его можно было предотвратить. Классифицируя отказы в соответствии с физико-химическими факторами, можно выделить 30 общих классификаций и 70 подклассификаций. Эти классификации давно известны и изучены многими специалистами, но некоторые разработчики до сих пор не знают о них и не учитывают при проектировании изделия.

Можно рассмотреть данные проблемы, используя эффекты CERT, разработать актуальный CERT-профиль и использовать его для защиты от поломок при эксплуатации изделий. Этот метод основан на анализе реальных отказов, который показывает, что довольно много серьезных проблем вызваны условиями, связанными

с комбинацией физико-химических факторов.

Разнообразные причины отказов включают в себя такие факторы, как: трение, расширение, сжатие, растяжение, испарение, конденсация, химические и физические реакции на свет, изменение механических напряжений, изменения коэффициента трения или изменения в интенсивности теплопередачи.

CERT с использованием температуры, влажности и вибрации

Рассмотрим самый популярный профиль проведения комбинированных испытаний: сочетание температуры, влажности и вибрации. Эти три фактора являются основными факторами окружающей среды, которые повсеместно распространены, и именно они составляют ядро факторов CERT. Исследования подтверждают, что 80% всех отказов при эксплуатации могут быть связаны с температурой (40%), влажностью (20%) и вибрацией (20%). Около 85% испытательного оборудования, производимого компанией ESPEC, уже могут проводить испытания на воздействие этих факторов – как комбинированно, так и по отдельности. Все остальные стресс-факторы – агрессивный газ, песок, пыль, снег, соленая вода, атмосферное давление, влияние солнечных лучей – дополняют базисное сочетание температуры, влажности и вибрации.

Комбинированные отказы, связанные с падением коэффициента трения

При использовании температурного удара с термоциклированием можно обнаружить ошибки, причиной которых является разница в качестве материала (коэффициент температурного расширения) и массы (теплоемкость), а также другие ошибки, такие как механический отказ или неисправность из-за изменений в электрических характеристиках. С другой стороны, при использовании CERT-профиля с температурой, влажностью, вибрацией и применением ускоренного режима поиска ошибок, можно обнаружить новые виды отказов, связанные с комбинированным воздействием всех факторов.

Механизм отказа

Когда продукт с различными коэффициентами теплового расширения изменяет свое состояние (расширяется и сжимается), при температурном цикле появляется отшелушивание и разрыхление изделия. В случае воздействия влажности влага проникает в трещины конечного продукта, а коэффициент трения падает в месте контактных зон. Применение вибрации в этот момент будет увеличивать общую реакцию на определенной частоте. Например, при переходе от сухого состояния к влажному реакция контактирующих поверхностей удваивается из-за снижения коэффициента трения. Таким образом,

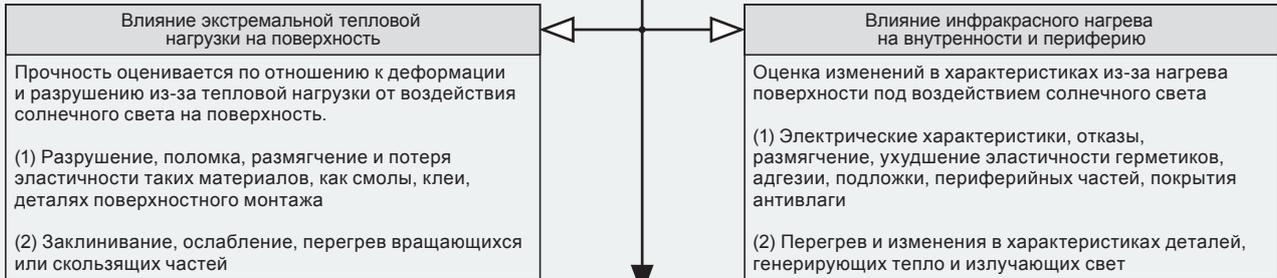
Температура, влажность, вибрация и воздействие солнечного света: CERT-профиль и воздействие внешних факторов (воздействие солнечного света)

Оценка характеристик и ресурса оборудования, износа поверхности под воздействием солнечного света в дополнение к температуре, влажности и вибрации

Ускоренная оценка разработки

Эффект воздействия солнечного света

Ускоренная оценка качества



Ускоренные режимы отказа, вызванные температурой, влажностью и вибрацией

Примеры воздействия солнечного света и примеры объектов для испытаний

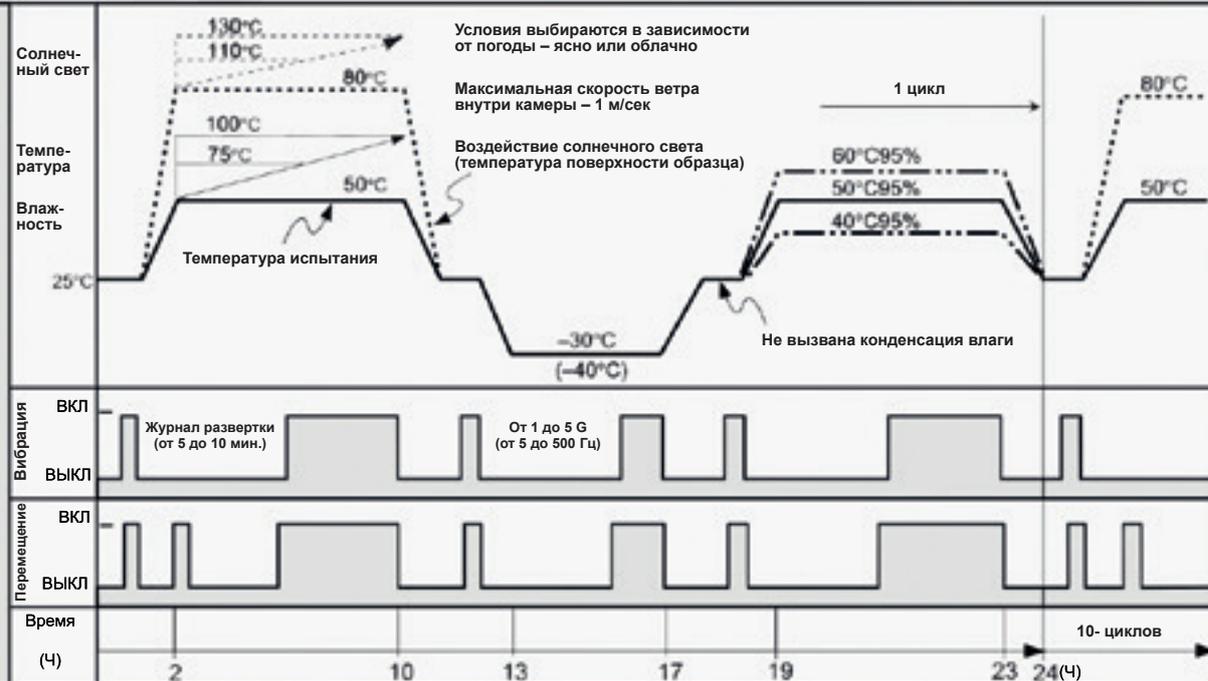
Пример условий для сотового телефона



Пример условий для автомобиля



CERT-профиль воздействия солнечного света



путем многократного применения таких факторов как движение, поглощение, замораживания и резонанс, можно оценить новые виды отказов, возникающие за счет значительного ускорения режима независимого воздействующего фактора, а также мультипликативного эффекта при трехфакторном комбинировании.

Чтобы добиться высокой надежности и безопасности изделий рекомендуется проводить испытания, наиболее близкие к реальным. Скрытые дефекты изделий можно

обнаружить только при проведении комбинированных испытаний. Чем больше стресс-факторов воспроизведено в одном испытании, тем больше вероятность того, что все скрытые дефекты будут обнаружены. При разработке и выводе новых изделий на рынок появляется необходимость в комбинированных ускоренных испытаниях. Избегать их по причине высокой стоимости оборудования означает нанести материальный ущерб себе и своей деловой репутации. 

О том, как провести ускоренные комбинированные испытания быстро и без потери надежности и безопасности, как быстро выводить продукт на высокотехнологичный рынок и экономить существенные средства на гарантийных издержках, мы расскажем в следующей статье, посвященной комбинированным ускоренным испытаниям.