

# ИСТОЧНИКИ СТАНДАРТОВ ИСПЫТАНИЙ HALT ДЛЯ РОССИЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



Текст: Анатолий Лютов



После публикации статьи «Испытай меня, если сможешь. Обзор комбинированных установок Qualmark»<sup>1</sup> мы получили вопросы от читателей: по каким стандартам проводятся ускоренные испытания? Каким образом этот вопрос решается в мире?

Мы обратились к мировой практике и расскажем о стандартах, на основе которых проводят испытания своей продукции такие компании как Dell, General Motors и Airbus.

---

<sup>1</sup> Журнал «Вектор высоких технологий» № 4 (33) июль 2017

Все новые технологии, тренды, инструменты и изобретения в области высоких технологий приходят к нам из Европы, Америки и Азии. Та же ситуация и с бизнесом. Если считается, что изобретено что-то новое, и в нашем мире чего-то нет, то чаще всего разработчик плохо искал и анализировал данные. Поэтому, если в России не применяются установленные стандарты HALT-испытаний, то это не значит, что их не существует. Международные стандарты HALT-испытаний широко внедряются внутри корпораций, занимающихся производством потребительской электроники, автомобилей, самолетов и других приборов.

На примере известных компаний мы рассмотрим, какой подход они применяют к ускоренным испытаниям.

### Компания Dell (производство компьютеров)

Dell Technologies – крупнейшая американская корпорация по производству компьютеров. Чтобы поддерживать высокое качество материнских плат в ноутбуках, Dell в середине 90-х годов прошлого столетия оснастил свой испытательный центр установками ускоренных испытаний Qualmark (рис 1).

Как и российские производители электроники, американские испытатели столкнулись с проблемой отсутствия стандартов. Чтобы восполнить этот пробел, нужно было самостоятельно сформулировать и подготовить внутриотраслевой стандарт по этим испытаниям.

#### Элементы стандарта:

- Кадровый состав для испытаний HALT. Вовлеченность всех отделов, ответственных за изготовление продукта.
- Требования к климатическим испытаниям (диапазон температур).
- Требования к виброиспытаниям (диапазон ускорений).
- Схема монтажа испытуемого образца.
- Требования по функциональным испытаниям.
- Термические испытания на воздействия ступенчатых нагрузок.
- Вибрационные испытания на воздействия ступенчатых нагрузок.
- Мероприятия, проведенные после HALT-теста.
- Подготовка к проведению HASS/HASA-испытаний.
- Подготовка к HASA-тестам.

Эти испытания завершаются при верхнем или нижнем пределе температуры, если до этого изделие не вышло



1

Установки ускоренных испытаний Qualmark в испытательном центре Dell

из строя. Комбинированные испытания температуры и вибрации проводятся согласно графику на рис 2. На нем представлен один цикл испытаний. Цикл начинается с линейного увеличения температуры при н. у. Количество циклов, последовательное включение/выключение и другие параметры испытаний должны быть определены в зависимости от типа ожидаемых отказов. Количество циклов испытаний изделий – 50.

После испытаний выполняется контроль изделий:

- визуальный контроль в течение испытаний (совместно с инженером по надежности).
- контроль паяного соединения и такого дефекта, как расслаивание, при помощи акустического микроскопа.

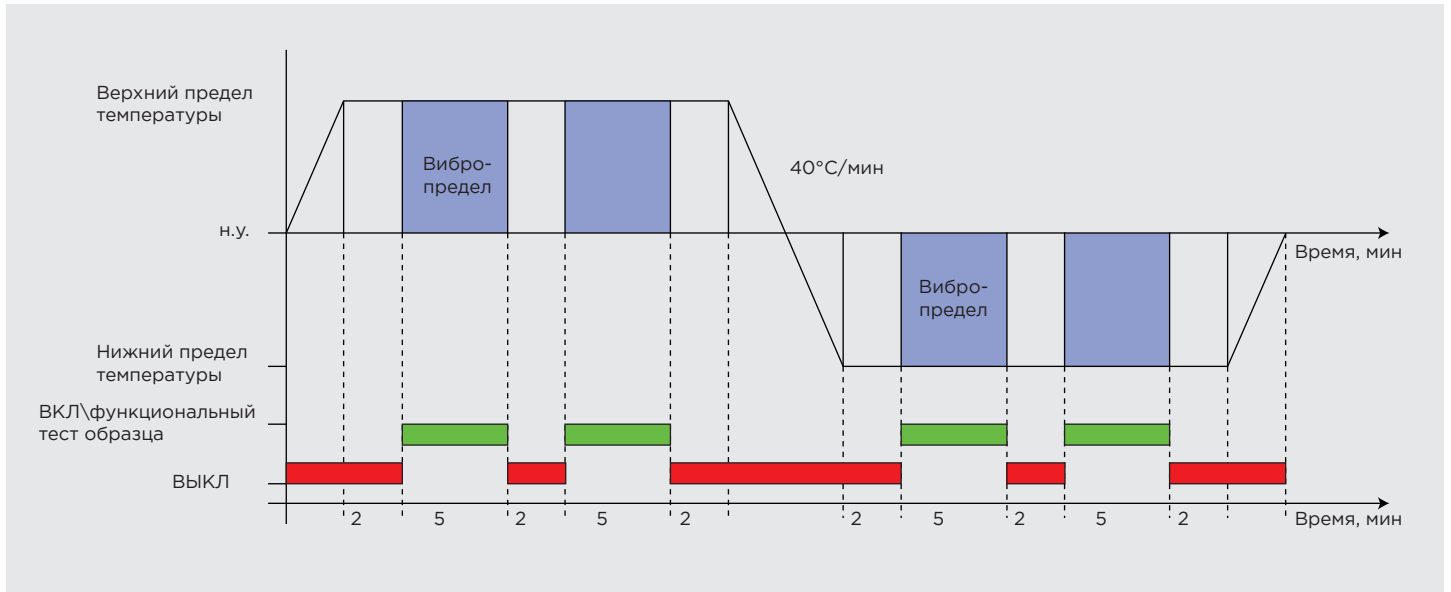
#### Итоги проведения HALT-тестов

- Механические испытания принтеров. Перед запуском нового продукта и выходом на рынок Dell внедрил «программу надежности», основанную на HALT-испытаниях. Благодаря проведенным тестам удалось обнаружить и устранить дефекты пластмассовой конструкции принтера.
- Испытания материнских плат. Инженеры по надежности выявили проблемы при испытании на сверхнизких температурах из-за отсутствия прочных компонентов набора микросхем.
- Механические испытания соединений (коннекторов).

T 1

Типовой режим HALT-испытаний (компания Dell Technologies)

ИСПЫТАНИЯ	ШАГ НАГРУЗКИ	НИЖНИЙ ПРЕДЕЛ	ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛ
Термические испытания на воздействия ступенчатых нагрузок	10 °C	-60 °C	+95 °C
Вибрационные испытания на воздействия ступенчатых нагрузок	5 Grms	10 Grms	50 Grms



2

Комбинированные циклы испытаний

Проведен редизайн конструкции коннекторов ноутбука из-за низкого уровня номинальной силы, зафиксированной при ускоренных испытаниях.

- Карты памяти RAM.

Изменен дизайн посадочного механизма из-за выявленного дефекта при механических испытаниях.

- Корродированные контакты на диске.

Поставщик заменил коррозионные материалы, из-за которых изделие переставало функционировать в процессе HALT-испытаний.

- Дефект генератора – замена компонента поставщиком, закупка нового компонента.

Все это – благодаря HALT-испытаниям (рис 3).

По коммерческим соображениям температуры, уровни вибраций и прочие данные компанией Dell не были представлены во внутреннем документе.

**Резюме:** представлен общий подход к проведению испытаний. Указано количество циклов для проведения HALT-теста.



3

Установки ускоренных испытаний Qualmark в испытательном центре Dell

## Компания Airbus (авиастроение)

Во внутреннем стандарте компании Airbus описан регламент и порядок проведения испытаний. Стандарт разделен на три основных раздела:

- Планирование.
- Проведение процедуры HALT.
- Пост HALT-рекомендации.

Планирование включает следующие этапы:

- определение тестовых рекомендаций HALT, описание минимальных достижимых температур, определение дополнительных характерных тестов;
- формирование требований по функциональному тесту изделий;
- определение метода фиксации изделия;
- описание компонентов продукта, их расположение и мониторинг термопар и акселерометров;
- обзор результатов HALT-теста.

Интересны специфические тесты, которые также описываются в стандарте Airbus.

Испытания электрических изделий:

- циклическое включение/выключение электрического прибора;
- граничные частоты и напряжение переменного тока;
- предел изменения постоянного напряжения;
- другие виды тестов.

Гидромеханические испытания изделий:

- термоциклирование в жидкой среде в диапазоне  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}/+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- испытание на загрязненность жидкости по классу 10 (NAS1638);
- гидравлическое давление в диапазоне от 30 до 50 %;

- пульсовое колебание давления (по спецификации);
- механические испытания с увеличенными перегрузками (Grms).

Перейдем к основным методам HALT-теста.

### Ступенчатое нагружение температуры

- Испытание начинается при температуре окружающей среды (от 20 до 30 °С).
- Шаг температуры составляет макс. 10 °С.
- Время выдержки 10 минут после стабилизации температуры при установившемся режиме. Сразу после выдержки необходимо провести полный функциональный тест изделия.
- Ступенчатое нагружение температуры продолжается до тех пор, пока камера не достигнет максимума. Эксплуатационный предел должен превышать рабочие характеристики по спецификации. Если камера достигла предельных значений температур, а изделие не вышло из строя, то необходимо расширить период максимального нагружения температуры и сформировать максимальную накопленную усталость при циклических нагружках.

При ступенчатом нагружении температуры (рис 4) определяются верхний и нижний пределы температуры.

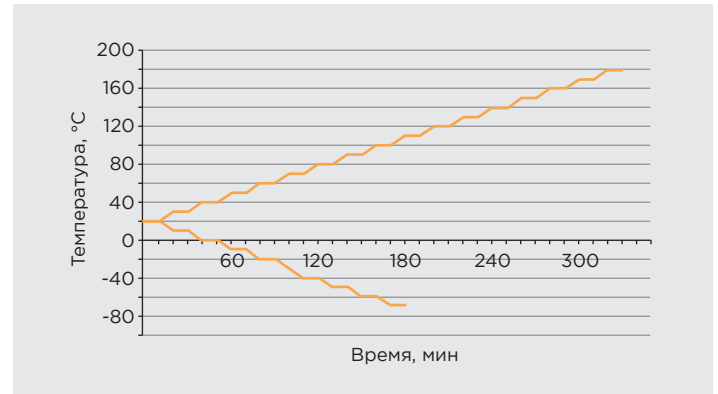
### Ускоренные температурные циклические испытания при быстрой скорости нагрева/охлаждения

Минимум три термоцикла до разрушения изделия.

Термоиспытания проводят при максимально возможной скорости изменения температуры. Диапазон колебаний температур в верхней и нижней зоне – не более  $\pm 5$  °С. Время выдержки должно составлять не менее 5 минут после стабилизации испытуемого образца в установленной температурной зоне. Функциональный тест изделий проводится периодически во время испытаний. Если это возможно, необходимо определить чувствительные к температуре элементы. При возникновении отказа нужно провести оценку и выявить причину. Если изделие выдерживает тест, то испытание необходимо продолжить для формирования максимальной накопленной усталости при циклическом нагружении (рис 5).

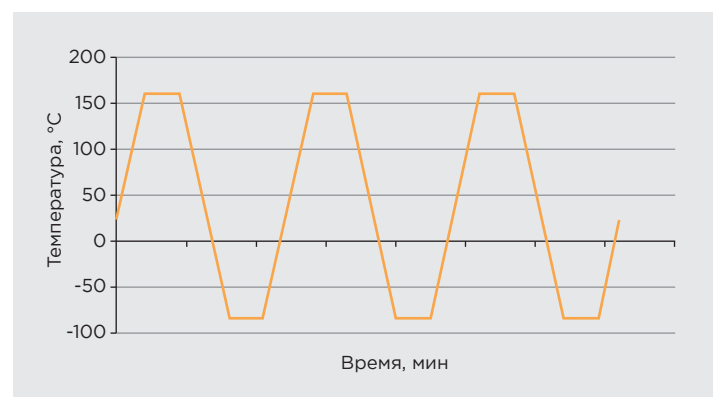
### Вибрационные испытания на воздействие ступенчатых нагрузок

Виброиспытания (рис 6) начинаются при ускорениях от 1 до 10 Grms (5 Grms – рекомендация), при частотах от 2 до 2000 Гц. Шаг увеличения нагрузок от 10 Grms (5 Grms – рекомендация). После завершения выдержки проводится функциональный тест. Время выдержки на каждом уровне составляет 10 минут. Функциональный тест производят после 10-минутной выдержки, таким образом, общее время складывается из времени, затраченного на функциональное тестирование образца, и времени выдержки. Нужно учитывать, что функциональный тест выполняют через один шаг. Виброиспытания



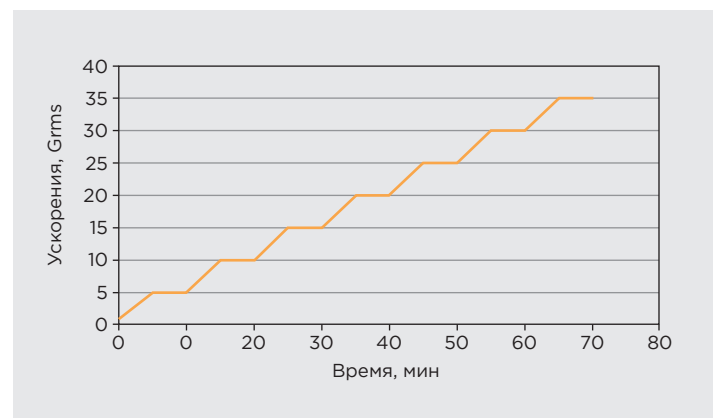
4

График ступенчатого нагружения температуры



5

Ускоренные температурные циклические испытания

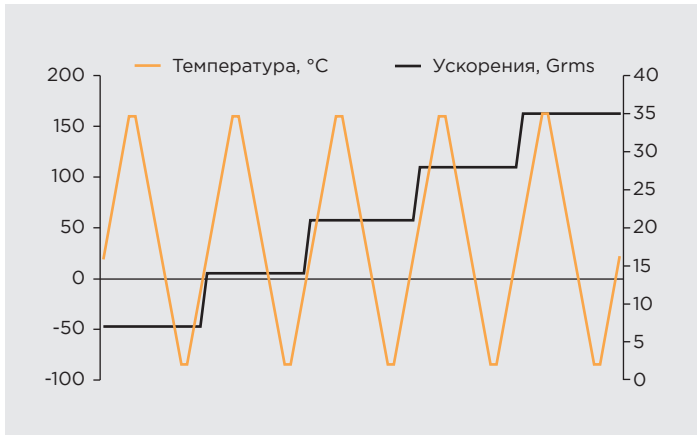


6

График виброиспытаний на воздействие ступенчатых нагрузок

проводят до определения эксплуатационных пределов изделия.

При ступенчатом нагружении определяют верхний предел вибрации (UVOL). При отказе изделия устанавливают причины отказа, если изделие еще работает – то тест продолжается. Если при максимальных нагрузках изделие продолжает свою работу, то увеличивается время выдержки при максимальных уровнях нагружения для достижения максимальной усталости объекта испытаний.



7

График комбинированных испытаний

### Комбинированные испытания

Минимальное количество проводимых комбинированных испытаний – пять. Комбинированный профиль испытаний – это циклическое изменение температуры в предельном диапазоне (рис 7). Минимальное время выдержки составляет 10 минут.

Для виброиспытаний должно быть выполнено не менее пяти циклов. Чтобы определить, с каким периодом проходят испытания, необходимо поделить заданный диапазон как минимум на пять частей. Так мы получим шаг проводимых испытаний. На первом и последнем шаге также необходимо провести испытания.

Функциональный тест проводится во время выдержки изделия. Время выдержки может быть расширено для проведения полного функционального теста. Функциональный тест должен проводиться на каждом шаге испытаний, особенно при заключительном тесте при последней 10-минутной выдержке.

### Определение разрушающих пределов

- Если нижний предел разрушения изделия лежит за диапазоном температур, то необходимость в его определении отпадает.
- Предел разрушения по вибронагрузкам достигнут в том случае, если изделие не может функционировать после снижения к предыдущему вибрационному уровню.
- Если изделие после очередного повышения температуры не включается, а при понижении температуры функционирует, то достигнут эксплуатационный предел.
- Если изделие не включается и при понижении температуры, то достигнут предел разрушения изделия.

Испытания на этом шаге не заканчиваются. Продолжается аналитическая работа.

#### 1. Результаты тестов и их архивирование

Характеристики изделий, которые фиксируют после HALT-теста:

- верхний эксплуатационный предел изделия;
- нижний эксплуатационный предел изделия;
- верхний эксплуатационный предел вибрации изделия;
- верхний предел разрушения вибрации изделия;
- верхний предел разрушения изделия;
- нижний предел разрушения изделия;
- анализ причин неполадок в работе изделия;
- внедренные корректирующие мероприятия.

#### 2. Пост HALT-рекомендации

- Анализ причин неполадок в работе изделия.
- Анализ неисправностей.
- Трекинг HALT.
- Корректирующие действия.
- Проверка достоверности HALT.

#### 3. Изменения, вносимые в продукт

**Резюме:** представлена полноценная методика HALT-испытаний. Пошагово определены алгоритмы и методы испытаний, представлены графики. Даны принципы и подходы по документированию результатов, их анализу и хранению. Описаны определения разрушающих пределов изделий. Дополнительно рекомендованы специфические тесты в зависимости от среды применения изделий.

### Компания General Motors (автомобилестроение)

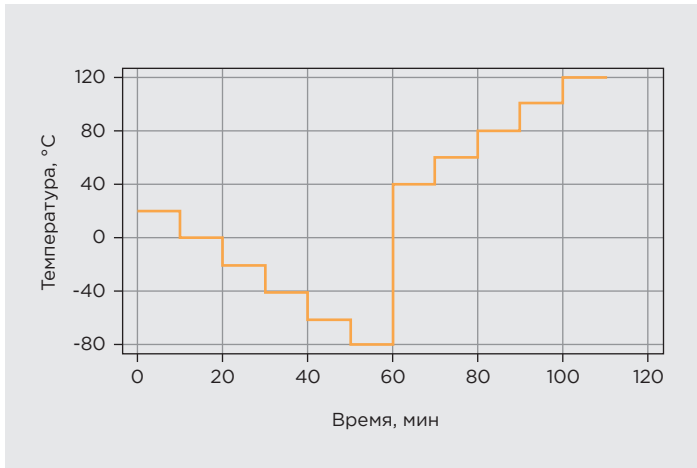
Рассмотрим стандарт General Motors и изучим подход компании к проведению HALT-теста. Так же как и в компании Airbus, здесь реализован внутренний стандарт по проведению HALT-испытаний. Фундаментальная разбивка на три раздела, описанная в предыдущем примере, также применяется и во внутреннем стандарте GM. Но алгоритмы и методы испытаний отличаются.

#### Ступенчатое нагружение температуры

Температурные испытания (рис 8) начинаются при температуре окружающей среды (диапазон +20...+30 °C). Максимальное значение температуры должно быть определено перед испытаниями на основе фазовых изменений материала в продукте. Все пластиковые детали необходимо снять, чтобы управляющие платы и электроника достигли максимальных температур при испытаниях, а также чтобы избежать ложных отказов. Шаг при температурных испытаниях обычно составляет 10 °C, он может быть увеличен до 20 °C в зависимости от ТУ на изделие.

Выдержка температуры должна быть достаточной для полной стабилизации процесса. Время выдержки колеблется от 5 до 15 минут после стабилизации образца на установленной температуре, оно контролируется термопарой на образце. Полный функциональный тест изделия проводится сразу после выдержки образца, а также возможен во время этого процесса. Ступенчатое нагружение темпе-





8

Температурные испытания

ратуры продолжается до тех пор, пока не будет выявлен эксплуатационный температурный предел образца или камера не достигнет максимальной температуры. Важно: определение пределов разрушения не проводится, если изделие редкое или дорогое. Эту операцию можно выполнить позднее, когда продукт станет общедоступным и цена на образец снизится.

### Ускоренные температурные испытания

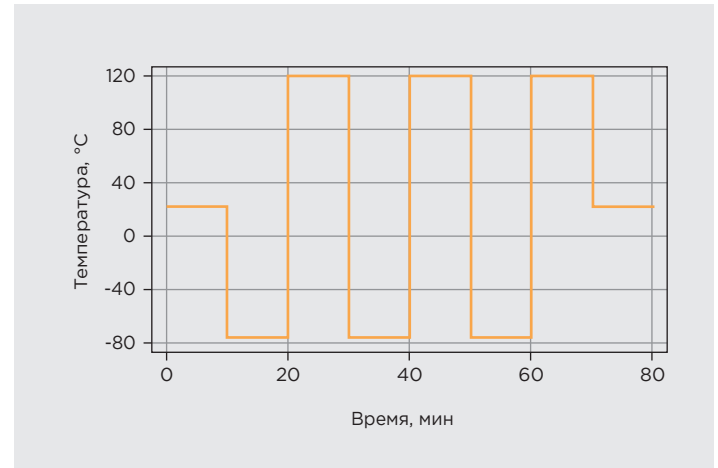
Минимальное требуемое количество термоциклов – три или до того момента, как будут определены ошибки разрушения образца. Тепловой переход от максимальной к минимальной температуре должен происходить при максимальной скорости изменения. Независимо от физических свойств материала этот тест необходим, поскольку при циклическом воздействии температур (рис 9) циклы могут определить чувствительность образца, которую нельзя зафиксировать во время комбинированных испытаний.

Диапазон термоциклирования должен быть на 5 градусов меньше или на 5 градусов больше эксплуатационных пределов изделия (определяется во время ступенчатого нагружения температуры), если иное не было оговорено заранее до проведения испытаний. Время выдержки – минимум 5 минут после стабилизации образца в установленной точке. Показания температуры снимаются термпарой, которая должна устанавливаться на образце. Выдержка может быть увеличена для тренировки изделий.

Функциональный тест изделия проводится при тепловом переходе от нижней температуры к верхней, по возможности определяется чувствительность элементов образца во время перехода.

### Ступенчатое нагружение вибрацией

Виброиспытания (рис 10) начинаются при ускорениях от 1 до 10 Grms, в диапазоне частот от 2 до 2000 Гц. Время выдержки при каждом ускорении составляет не менее 10 минут. Функциональный тест может проводиться либо во время выдержки, либо в последнюю, 10-ю минуту испытаний.



9

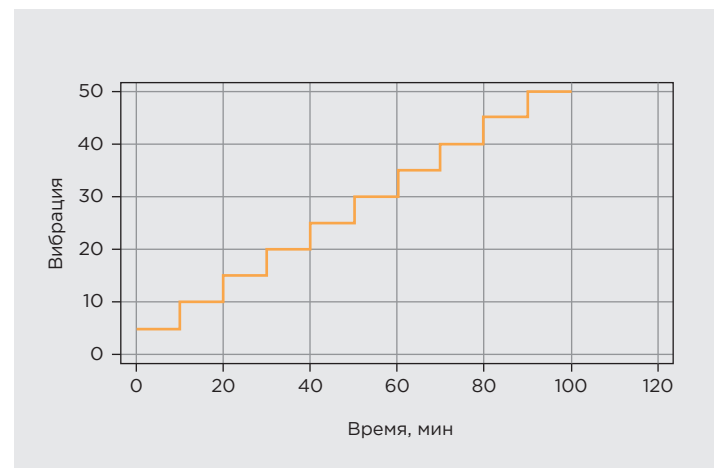
Ускоренные температурные испытания

Рекомендуется возвращение к плавающим уровням ( $5 \pm 3$  Grms) в конце каждого уровня, для обнаружения возможной ошибки, которая могла быть скрыта при экстремальных перезагрузках на высоких уровнях вибрации. Ступенчатое нагружение вибрацией продолжается до тех пор, пока не достигнут эксплуатационный предел образца или камера не достигла максимальных значений. Затем испытания продолжают, пока не будут обнаружены пределы разрушения до достижения максимальных эксплуатационных нагрузок камеры.

### Комбинированные испытания

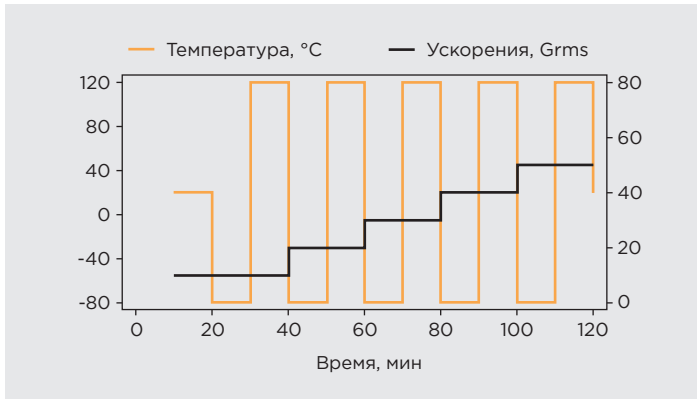
Минимальное количество проводимых циклов испытаний – пять. Температурный профиль комбинированных испытаний формируется, исходя из эксплуатационных пределов. Минимальное время выдержки на экстремальной температуре составляет 10 минут.

Вибрационный профиль (рис 11) испытаний формируется путем разделения всего диапазона вибраций на пять частей. Каждый уровень включает выдержку на максимальной и минимальной температурах и увеличивается, пока не достигнут предел разрушения изделия. Если предел



10

Ступенчатое нагружение вибрацией



1 1

График проведения комбинированного испытания

разрушения не был достигнут, необходимо взять завершающий максимальный диапазон и снова разделить его на пять частей, после чего повторить испытания.

Можно также вернуться к минимальным уровням вибрации для проверок на разрушение изделия. Возврат к плавающим виброуровням рекомендован в конце каждой нагрузки, чтобы обнаружить возможные скрытые отказы, которые могут быть замаскированы при резком переходе на следующий, более высокий уровень.

Функциональное тестирование образца необходимо проводить во время каждой выдержки циклических испытаний. Таким образом, время выдержки расширяется с учетом проверок образца на работоспособность.

На рис 1 2 представлен обобщенный процесс проведения HALT-испытаний. Определение разрушающих пределов реализуется тем же методом, что и в стандарте Airbus.

Испытания на этом шаге не заканчиваются. Продолжается аналитическая работа. Инженер по надежности должен внести в описание следующие результаты и записи:

- Реакция образцов на результаты HALT-тестов.
- Анализ поломок и неисправностей.

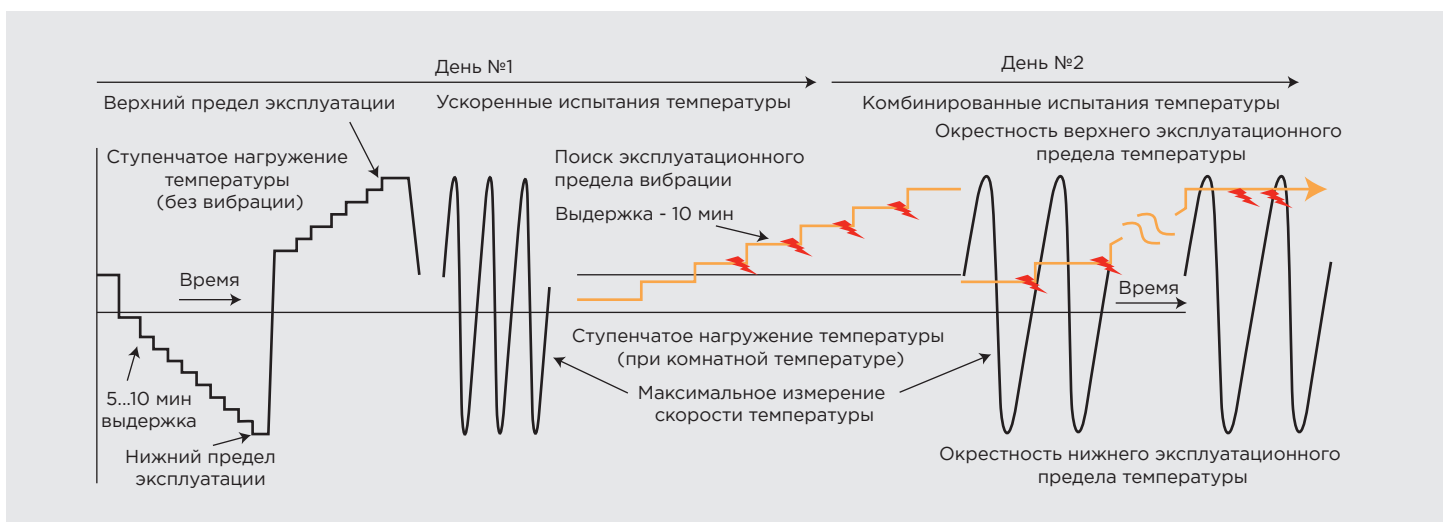
- Анализ корректирующих действий.
- Достоверность HALT-тестов.
- Инжиниринговые изменения HALT.
- Другие записи.

**Резюме:** представлена подробная и полноценная методика HALT-испытаний с дополнениями. Указаны действия, которые необходимо выполнить после HALT-испытаний. Даны рекомендации, алгоритмы и шаблоны по внедрению и анализу тестирований. В методиках есть дополнительные советы по определению рабочих пределов изделия (плавающие ускорения).

**Стандарт GM является самым полным по проведению HALT-испытаний. Если вас заинтересовала информация по анализу отказов или другой аналитике, обращайтесь по электронной почте [test@ostec-group.ru](mailto:test@ostec-group.ru)**

Эта статья завершает цикл материалов по HALT-испытаниям. На примерах известных компаний мы показали необходимость данного теста для продвижения на рынок качественного продукта.

Мировое инженерное сообщество уже проводит исследования надежности своих изобретений, опираясь на HALT-испытания. В стандарте IEC 61014 «Программа увеличения надежности» подробно изложены основные подходы к проведению испытаний на надежность, в том числе и к HALT. Включение в международный стандарт – сигнал к постепенному внедрению таких испытаний в российские внутренние стандарты и на предприятия для конкурентного вывода отечественной радиоэлектронной продукции на внешний рынок. □



1 2

Обобщенный процесс проведения HALT-испытаний