

# «Испытай меня, если сможешь».

Обзор  
комбинированных  
установок

## Qualmark



Текст: **Анатолий Лютов**

»

«Трудности – это не наказание за прошлое,  
а испытание ради будущего».

Неизвестный автор

В журнале «Вектор высоких технологий» № 3 (32) апрель 2017 в статье «Комбинация CERT – форсаж отказов в полях испытаний» мы рассмотрели комбинированные испытания и определили их роль при разработке и выводе продукта на рынок высокотехнологичных изделий. В этом материале мы расскажем, как при помощи ускоренных комбинированных испытаний экономить значительные средства на гарантийных издержках и существенно повышать качество изделий.

Ускоренные методы комбинированных испытаний (HALT, HASS, HASA) были разработаны в середине 80-х годов прошлого столетия. Их эффективность была подтверждена на практике компанией Qualmark, которая является первопроходцем в этой области.

В испытательном центре Santa Clara lab, Калифорния, было проведено аналитическое исследование. Его цель – проанализировать и установить отказы при проведении испытаний изделий, полученные спустя 12 лет применения HALT/HASS-методик.

**Т 1**

Отказы при испытании изделий в 1996 и в 2008 году

	1996 год	2008 год
Кол-во компаний	33	30
Кол-во тестов	47	47
Кол-во найденных дефектов	236	294

Полученные аналитические данные (**Т 1**) как нельзя лучше характеризуют эффективность методик проведения испытаний.

Электронные изделия за 12 лет стали значительно сложнее, плотность расположенных компонентов увеличилась в соответствии с законом Мура, однако это не может быть единственной причиной увеличения количества обнаруженных дефектов.

В процессе развития СМТ-технологий укреплялась гипотеза о том, что вибропрочность электронных изделий увеличится. С одной стороны, это так. Согласно полученным данным (рис. 1, 2) количество отказов, найденных при помощи виброиспытаний, уменьшилось на 26 %. Однако при комбинированном воздействии количество отказов увеличилось на треть по сравнению с предыдущим периодом. Это говорит о том, что технологически сложные изделия необходимо испытывать в условиях, наиболее близких к реальным, то есть проводить испытания на воздействие температуры и

вибрации одновременно. В то же время классические комбинированные испытания длительны по времени, что недопустимо при выводе новых продуктов на рынок высоких технологий, где время – основной фактор. Поэтому необходимо проводить ускоренные комбинированные испытания.

Рассмотрим подробнее успешные кейсы по внедрению ускоренных комбинированных испытаний в корпорациях-лидерах своих отраслей.

**Microsoft**

Microsoft – транснациональная компания, производящая различные программные решения, электронику, планшеты, игровые приставки и пр. В 2010-2011 годах в ее дочерних компаниях появилось оборудование для ускоренных комбинированных испытаний Qualmark. Оборудование было предназначено для испытания новых изделий, таких как игровые консоли Xbox, смартфоны Lumia, периферийные устройства.

«Благодаря этим установкам мы проводим испытания быстрее. Надежность изделий возросла благодаря внедрению HALT/HASS-методик».

Данные поражают (**Т 2**): Garmin, Nvidia и Microsoft смогли значительно сократить объем рекламаций, более того, в Microsoft Corp. сократились издержки на рекламацию в размере 100 млн \$. Именно эксплуатация установок Qualmark позволила совершить такой прорыв в сокращении издержек на гарантийный ремонт. А это время, силы и деньги, которые затрачивает персонал на работу с клиентом...

**Toshiba**

В испытательном центре, где проводятся тесты новинок, на этапе разработки флагманского ноутбука были выявлены потенциальные проблемы качества, которые впоследствии удалось быстро решить.

1996 год. Отказы по видам воздействия



**1**

Отказы по видам воздействия, 1996 год

2008 год. Отказы по видам воздействия



**2**

Отказы по видам воздействия, 2008 год

Т 2

Объем и количество рекламаций за 2010-2011 г. в компаниях, оснащенных установками Qualmark

КОМПАНИЯ	РЕКЛАМАЦИЯ, МЛН \$	КОЛ-ВО РЕКЛАМАЦИЙ	РЕКЛАМАЦИЯ, МЛН \$	КОЛ-ВО РЕКЛАМАЦИЙ	СОКРАЩЕНИЕ ИЗДЕРЖЕК НА ГАРАНТИЙНЫЙ РЕМОНТ
	2010	ДЕК.10	2011	ДЕК.11	2011-2010 ГОД
Garmin, Ltd	88	3,3	55	0,3	-92 %
Nvidia Corp	205	6,4	114	1,1	-82 %
Microsoft Corp.	188	0,8	89	0,4	-50 %
Joy Global Inc	38	1,4	34	0,8	-41 %
TRW Automotive	59	0,4	42	0,3	-37 %
Terex Corp.	93	1,8	77	1,2	-36 %
KB Home	45	2,9	25	1,9	-33 %
Lennar Corp.	81	3	55	2	-32 %
Dana	50	0,8	44	0,6	-29 %
Cummins Inc.	421	3,2	409	2,3	-29 %

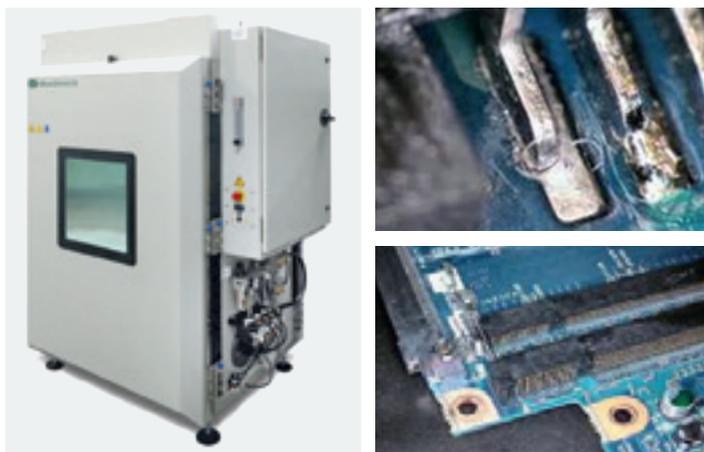
На презентации нового продукта представитель Toshiba подчеркнул: «Новый продукт был разработан с применением HALT-испытаний (рис. 3), поэтому нам удалось добиться высокой надежности, ведь это так важно для сохранности данных наших корпоративных клиентов и живучести ноутбука».

Типичная программа HALT-испытаний, проводимая специалистами Toshiba:

**6 циклов:**

- 10 мин,  $t = -25^{\circ}\text{C}$   
 - 10 мин,  $t = +70^{\circ}\text{C}$  } Сочетание со случайной  
 вибрацией 45 gRMS

Результатом проделанной работы стала беспрецедентная акция, действующая в течение одного года с момента выпуска ноутбука: «Если машина, купленная и зарегистрированная на сайте (с зарегистрированной гарантией на этот период), попадает в ремонт в течение первого года после покупки, и сервис признает случай гарантийным, то покупателю не только ремонтируют ноутбук, но и отдают затраченные деньги».



3

Установка Turphoon 2.5; испытываемое изделие

Подобные заявления производителя свидетельствуют о высоком качестве выпускаемой продукции, его уверенности в безотказности и живучести изделия.

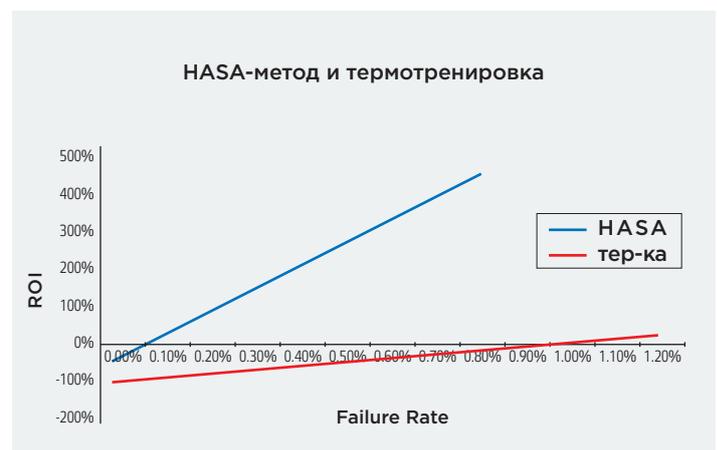
**Varian Medical Systems Inc.**

Компания Varian Medical Systems является ведущим мировым производителем медицинского оборудования для лечения раковых заболеваний. В какой-то момент у предприятия увеличилось количество рекламационных заявок на ремонт оборудования.

В результате совместного с компанией Qualmark технического аудита было предложено провести комбинированные ускоренные HALT-испытания вместо обычной термотренировки.

В результате:

- время испытаний сократилось с 120 до 8 часов;
- количество обнаруженных дефектов увеличилось с 20 до 30%;
- количество дефектов при проведении финальных тестов уменьшилось до 0.



4

Окупаемость оборудования для термотренировки и HALT-испытаний

Инвестиции, вложенные в развитие парка оборудования, возвращаются обратно не быстро. Многие считают, что развитие испытательного центра – это убыточная идея и сродни подвигу. На самом деле это не так. Если сравнить две прямые окупаемости (ROI) обычного оборудования для проведения испытаний по термотренировке и установок Qualmark, то налицо экономия издержек в разы (рис. 4).

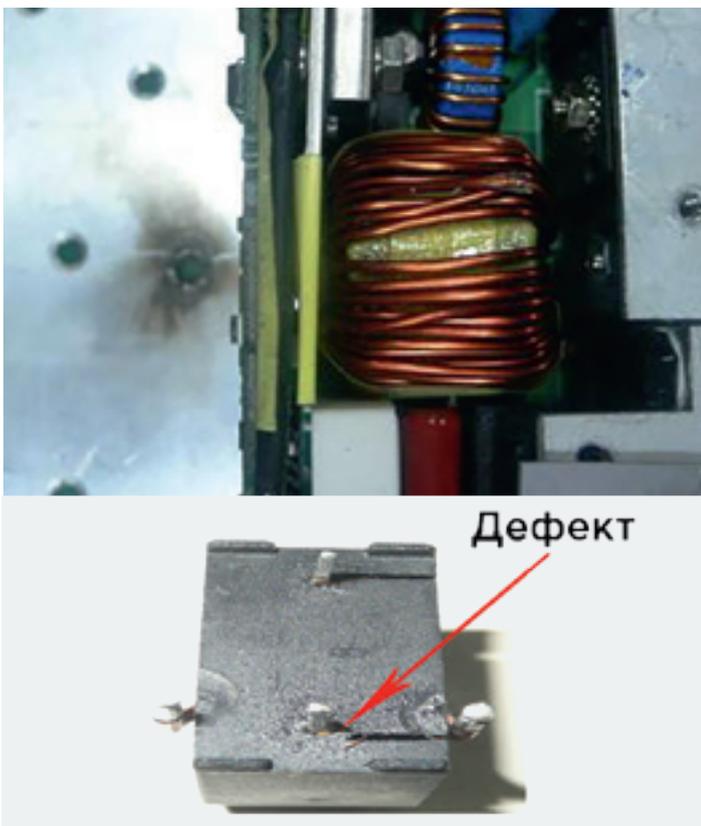
Почему же именно HASS- и HALT-методы способны вскрыть те дефекты изделий (рис. 5), которые упускаются при проведении классической термотренировки и виброиспытаний?

HASS- и HALT-методы испытаний – это проведение комбинированных ускоренных испытаний изделий на воздействие температуры и многоосевой случайной вибрации.

Классические комбинированные испытания предусматривают диапазон температур от -60 до +100 в сочетании с одноосевой вертикальной вибрацией. Скорость изменения температуры внутри рабочего объема не превышает 5°C/мин.

Ускоренные испытания по методу HASS/HALT предполагают проведение следующих испытаний:

- диапазон температур от -100 до +200 °C;
- многоосевая случайная вибрация от 5 до 75 gRMS;
- скорость изменения температур от 70 до 100 °C\мин.



5

Дефекты изделий



6

Расположение пневмоактюаторов

Экстремальные температуры достигаются с помощью жидкого азота.

Шестиосевая случайная вибрация обеспечивается движением пневмоактюаторов в трех направлениях (x, y, z) и по трем углам наклона (крен, тангаж, рысканье). Вибрационные системы HALT-установок – запатентованная технология компании Qualmark.

HALT-метод не является разновидностью приемодаточных испытаний. Эти испытания проводят, когда необходима оценка технических характеристик опытных образцов изделий. Цель таких испытаний – обнаружить дефекты новых изделий на ранних этапах проектирования и устранить их, сделав изделие более совершенным и качественным.

HALT-тест помогает конструкторам спроектировать надежные изделия, подвергая их жестким комбинированным испытаниям.

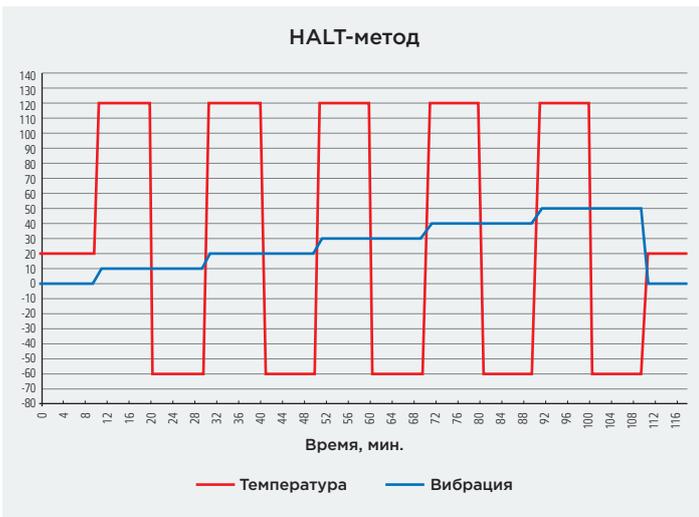
Когда ошибка изделия выявлена и устранена, проводятся следующие испытания. Испытания заканчиваются, когда достигается максимально допустимая нагрузка продукта. Полученные в результате HALT-испытаний сведения позволяют определить верхний (нижний) предел эксплуатации и верхний (нижний) предел разрушения (рис. 7, 8).

Предел разрушения соответствует нагрузке/режиму, необходимым для того, чтобы вызвать повторяющийся сбой продукта. Предел эксплуатации соответствует нагрузке, необходимой, чтобы спровоцировать выход изделий из строя. Разница между этими двумя предельными параметрами представляет диапазон нагрузок для HALT-испытаний.

По мере обнаружения дефектов изделий эти диапазоны продолжают расти, что позволяет расширить границы спецификации и увеличить срок службы и надежность продукта.



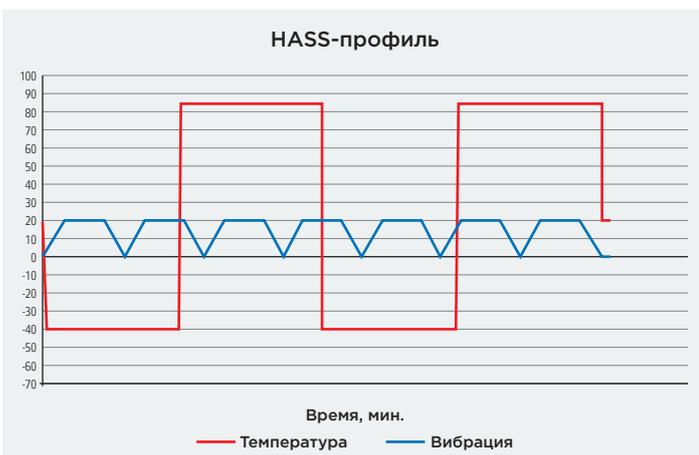
7 Методика проведения HALT-теста



8 Пример HALT-теста



9 Методика проведения HASS-теста



10 Пример HASS-теста

HASS-тесты проводятся после HALT-испытаний, поскольку основная цель этого теста – подтвердить качество изделия, не выводя его из строя (рис. 9, 10). Если HALT-метод используется конструкторами и разработчиками для определения допустимых пределов разрушения, то HASS-испытания предназначены для идентификации проблем качества изделия.

Ступени нагрузок при HASS-испытаниях менее интенсивные, чем в HALT, но более экстремальные, чем в реальных условиях. Цель испытаний – максимальная нагрузка, которая поможет обнаружить ошибку и устранить ее, не навредив долговечности и сроку службы. Чтобы доказать стабильность испытаний продукта, срок службы изделия не должен уменьшиться на величину более 1\15 от общей величины срока службы изделия.

Рассмотрим концепцию размещения HASS/HALT-установки внутри испытательной лаборатории (рис. 11).

Существенную роль в обеспечении HALT/HASS-испытаний играет жидкий азот, а метод его передачи по трубопроводу является определяющим для достижения заданных параметров выдержки, средней скорости нагрева и охлаждения. Образование пузырей при подаче жидкого азота может сильно осложнить контроль системы охлаждения. Техническое решение, которое гарантированно снизит потери тепла в трубопроводе, – это вакуумная рубашка.

Если оснастить трубопровод медными трубками, то выделяемое тепло составит 292 Вт/ч на 1 метр длины,



11 Пример размещения установки Qualmark внутри испытательного центра



13 Скорость достижения температур. Камера Qualmark уже достигла заданных значений температур и вышла на выдержку, а аналогичные модели только приближаются к ним

если вакуумными рубашками – 2,93 Вт/ч на 1 метр длины (рис. 12).

Таким образом, при использовании второго типа трубопровода тепловые потери сократятся в 100 раз благодаря улучшенной конструкции с двойной изоляцией. Внутренняя трубка служит для передачи жидкого азота, внешняя – для поддержки, удержания и отвода тепла. Пустота, которая образуется в результате этого, удерживает тепло, излучаемое внутренней трубкой. Обе трубки выполнены из нержавеющей стали. Трубопровод оснащен молекулярным фильтром, который способен удерживать частицы от 9 микрон и выше.

Одна из ключевых особенностей HALT-метода – мгновенная скорость нагрева/охлаждения внутри рабочего объема. Максимально достигаемая скорость ва-

рируется в диапазоне 90-100°C/мин. Скорость потока воздуха в линейке камер Qualmark значительно превосходит скорость традиционных камер тепла, холода и влаги. Система подачи азота в камеры Qualmark позволяет достигать заданных температур значительно быстрее, чем в аналогичном оборудовании (рис. 13).

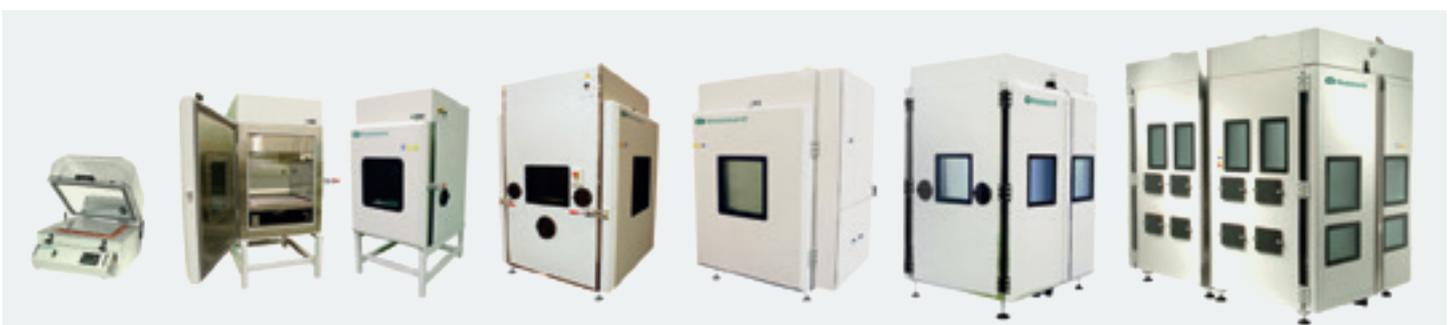
Опыт ведущих международных компаний показал, что эксплуатация оборудования Qualmark (рис. 14) и проведение ускоренных комбинированных испытаний по методу HALT/HASS опровергает миф о том, что испытательный центр – статья расхода.

Уже сейчас методики HALT/HASS активно внедряются компаниями, которые являются законодателями тенденций в области производства изделий электронной техники. Их положительный опыт эксплуатации показал следующие преимущества оборудования Qualmark:

- существенное уменьшение расходов на гарантию и обслуживание;
- выявление скрытых дефектов в результате ошибок конструирования или технологии изготовления;
- выявление сбоев, влияющих на изменение в аппаратном и программном обеспечении;
- повышение степени удовлетворенности, увеличение лояльности клиента.



12 Вакуумная рубашка в разрезе



14 Модельный ряд камер Qualmark

ТЭ

## Технические характеристики камер Qualmark

ДИАПАЗОН ТЕМПЕРАТУР, °С	ТУРНООН 4.0 INFERNO	ТУРНООН 2.5 INFERNO	ТУРНООН 8.0	ТУРНООН 4.0
	ОТ -100 ДО +250	ОТ -100 ДО +250	ОТ -100 ДО +200	ОТ -100 ДО +200
Рабочий объем, мм	Ш 1366 В 1362 (879) Г 1372	Ш 889 В 889 (635) Г 889	Ш 2761 В 1362 (879) Г 1372	Ш 1366 В 1362 (879) Г 1372
Внешние габаритные размеры, мм	Ш 1759 В 2753 Г 2003	Ш 3222 В 2197 Г 1706	Ш 2093 В 2618 Г 3142	Ш 1759 В 2753 Г 2003
Размер стола, мм	1220 × 1220	762 × 762	2540 × 1220	1220 × 1220
Количество актюаторов, шт.	12	8	24	12
Нагрузка на рабочий стол, кг	272	145	544	272
Диапазон ускорений, gRMS	от 5 до 75	от 5 до 75	от 5 до 75	от 5 до 75
Скорость изменения температуры, °С/мин	70-100	70-100	70-100	70-100
Напряжение питания	380 В, 3ф, 150 А		380 В, 3ф, 200 А	380 В, 3ф, 100 А

ДИАПАЗОН ТЕМПЕРАТУР, °С	ТУРНООН 3.0	ТУРНООН 2.5	ТУРНООН 2.0	ТУРНООН 1.5
	ОТ -100 ДО +200	ОТ -100 ДО +200	ОТ -100 ДО +200	ОТ -100 ДО +200
Рабочий объем, мм	Ш 1118 В 889 (635) Г 1143	Ш 1118 В 889 (635) Г 1143	Ш 686 В 496 Г 686	Ш 686 В 496 Г 686
Внешние габаритные размеры, мм	Ш 1425 В 2134 Г 1748	Ш 1425 В 2134 Г 1748	Ш 985 В 2030 Г 1171,3	Ш 985 В 2030 Г 1171,3
Размер стола, мм	914 × 914	762 × 762	610 × 610	457 × 457
Количество актюаторов, шт.	10	8	5	4
Нагрузка на рабочий стол, кг	204	145	45	45
Диапазон ускорений, gRMS	от 5 до 70	от 5 до 70	от 5 до 75	от 5 до 70
Скорость изменения температуры, °С/мин	70-100	70-100	70-100	70-100
Напряжение питания	380 В, 3ф, 80 А	380 В, 3ф, 80 А	380 В, 3ф, 25 А	380 В, 3ф, 25 А

В следующем номере журнала «Вектор высоких технологий» мы рассмотрим вопросы, связанные с окупаемостью оборудования Qualmark.

*Продолжение в следующем номере.*