

# УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ: КАМЕРА ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ И ТЕПЛООВОГО УДАРА ESPEC (TABA1) TSD-100

Павел Масич  
Евгений Кашин

## ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕ И ТЕПЛОВОЙ УДАР КАК МЕТОД УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

Текущие тенденции резкого увеличения использования электроники в различных отраслях промышленности, рост популярности переносных электронных устройств приводят к все большей востребованности испытаний на термоциклирование и тепловой удар. Количество изделий электронной техники в автомобилях, самолетах, космической технике быстро растет. К таким изделиям предъявляются более высокие требования по надежности, по сравнению с изделиями бытовой электроники. Повышение требований по надежности приводят к увеличению трудоемкости и времени испытаний. Из-за этого увеличивается время, затрачиваемое на разработку и подготовку изделий к производству. Но рыночные условия настоятельно диктуют минимизацию. Соответственно главным вопросом становится эффективное проведение

Рис. 1 Камера TSD-100



испытаний в сжатые сроки при обеспечении требуемой высокой надежности электронных изделий.

Целью ускоренных испытаний электронных изделий является достижение состояния отказа или накопление повреждений вследствие действия определенного механизма разрушения. Обязательным условием при проведении ускоренных испытаний является меньшее время, чем требовалось бы при эксплуатации изделия. Интенсивность воздействия параметров, от которых зависит долговечность, может быть повышена для сокращения продолжительности испытаний. Особую важность имеет определение соотношения между ускоренными испытаниями изделия и реальными условиями эксплуатации, относительно которых осуществляется ускорение.

Хотя использование ускоренных испытаний и может быть опасным, поскольку они вносят фактор неопределенности, избежать их в общем случае нельзя. Это объясняется тем, что проектируемая долговечность электронных блоков слишком велика для проведения испытаний в реальных условиях эксплуатации.

Для ускорения разрушения электрических соединений, прежде всего мест пайки могут выполняться испытания на тепловую усталость, тепловой удар и/или вибрационные испытания (IPC-SM-785 «Руководящие указания по ускоренным методам испытаний на надежность паяных соединений технологии поверхностного монтажа»). Выбор типа и условий испытаний должен осуществляться на основании соответствующих механизмов повреждения или разрушения и условий эксплуатации. При эксплуатации большинства технических средств реализуются только механизмы разрушения, вызванные тепловой усталостью, возникающей в результате термоциклирования. IPC-SM-785 регламентирует три основных типа термоциклирования: тепловой удар, температурные циклы и функциональные циклы.

При термоциклировании изделие подвергается поочередному воздействию высоких и низких температур с определенными периодами выдержки. Граничным значением скорости для конкретизации режимов температурного циклирования и теплового удара является скорость изменения температуры 20°C /мин. (на образце), выше которой реализуется термоудар, а ниже — температурное циклирование без термоудара. При температурном

циклировании для создания повреждений от процессов усталости/ползучести в большинстве случаев рекомендуется диапазон температур от +25°C до +100°C или от 0°C до +100°C (в зависимости от области применения изделий) с выдержкой при каждой температуре в течение 15 мин. В то же время для изделий определенного назначения (например, аппаратуры под капотом автомобиля) рекомендуется циклирование с большим диапазоном температур, близким к имеющемуся в действительности (от -55°C до +125°C). При испытаниях тепловым ударом применяются скорости нагрева и охлаждения 30°C/мин (на образце) и более с обязательным выходом на предельные значения температур. Выполнение испытаний на тепловой удар с целью оценки надежности паяных соединений необходимо в случае, если тепловой удар является одним из действительных условий эксплуатации, которым подвергается изделие: электронные узлы под капотом автомобиля, авиационная электроника, устройства космической техники и др.

Разработчик электронной аппаратуры, эксплуатирующейся в условиях циклического изменения температуры, должен понимать, что для оценки реальных скоростей термоциклирования важно, чтобы предельные значения температуры измерялись непосредственно на образце, и с учетом этого оценивались скорости нагрева и охлаждения. Измерение значений температуры внутри камеры менее достоверно, так как показания, измеренные на образце и в камере термоциклирования существенно различаются.

Камера термоциклирования и теплового удара TSD-100 (рис. 1) была разработана компанией Espec (Tabai) специально для решения проблемы высокой длительности испытаний на надежность. Высочайшая скорость изменения температуры, непревзойденная точность поддержания ее значений и уникальная функция контроля необходимого времени выдержки температуры по температуре образца (STT) делают эту камеру способной создать одинаковые условия испытания для очень большого количества изделий одновременно и проводить их во много раз быстрее. ЗАО Предприятие ОСТЕК имеет честь предложить своим клиентам эту современную испытательную климатическую камеру, позволяющую проводить испытания быстрее и с большей эффективностью.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Камеры теплового удара обычно конструируются по 3-х зонной схеме (низкотемпературная зона, рабочая зона, высокотемпературная зона). Такая схема (рис. 2) обуславливает достаточно большую массу камеры, так как приходится разделять три разных объема хорошей изоляцией и тяжелыми элементами. Это сильно снижает скорость изменения температуры в камере.

В TSD-100 используется двухзонная система (низкотемпературная и высокотемпературная зоны) с подвижной рабочей площадкой (рис. 2). В результате отсутствует необходимость иметь два изолированных объема с повы-

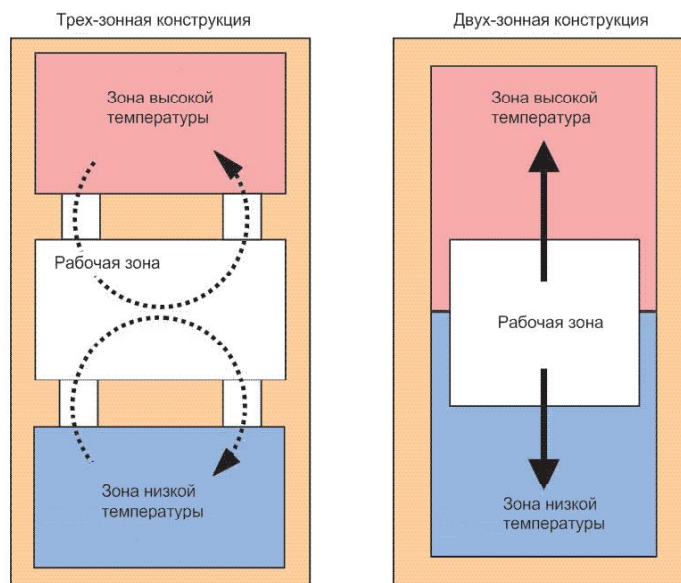


Рис. 2 Старая и новая конструкции камеры теплового удара

шенной и пониженной температурами, которые обеспечивают заданную температуру в рабочей зоне, что позволяет камере TSD-100 иметь меньшую массу и тепловую инерцию. Кроме того, двухзонная система позволяет воздействовать с максимальным эффектом непосредственно на образцы.

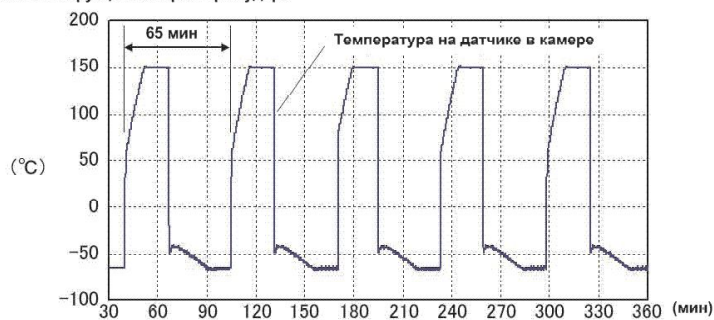
Оптимальные массо-габаритные показатели, продуманный внутренний объем обеспечивают значительное снижение времени, необходимого для проведения испытаний (рис. 3), и уменьшение энергозатрат (около 30% по сравнению с обычными моделями).

Рис. 3 Графики изменения температуры

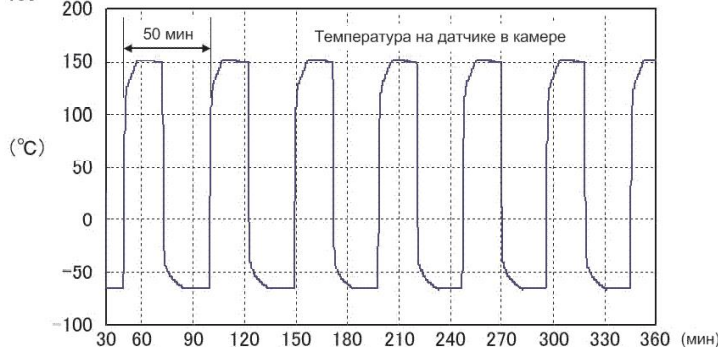
### Параметры испытания

Выдержка в зоне высокой температуры: +150°C, 15 мин  
 Выдержка в зоне низкой температуры: -65°C, 15 мин  
 Образцы: ИС в пластиковом корпусе, 10 кг

### Типовая конструкция камеры термоудара



### TSD-100



Время испытания сокращается примерно на 15 минут за один цикл. Для испытания длительностью в 3000 циклов время испытания сокращается на один месяц.

# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

## Параметры испытания

Выдержка в зоне высокой температуры: +150°C, 30 мин  
 Выдержка в зоне низкой температуры: -65°C, 30 мин  
 Образцы: ИС в пластиковом корпусе, 10 шт.

## Методика измерения равномерности распределения температуры

Термопары присоединены к поверхности 10 ИС в QFP-корпусе, расположенных по углам и в центре двух полок расположенных в рабочей зоне на разной высоте.

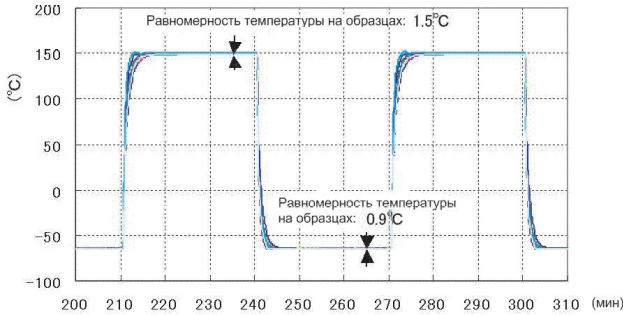
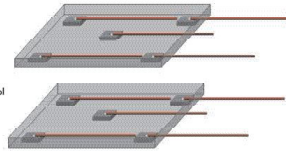


Рис. 4 Равномерность распределения температуры по объему

Наряду с другими достоинствами камера TSD-100 демонстрирует выдающиеся характеристики по стабильности распределения температуры по объему не только во время выдержки при постоянной температуре, но и при ее изменении (рис. 4). Равномерное распределение позволяет избежать разницы в воздействии при испытании большого количества образцов, распределенных по рабочей зоне внутри камеры. Каждая зона температуры, холодная и горячая, оснащена двумя вентиляторами. Специальные горизонтальные и вертикальные пластины установлены на пути потока воздуха от вентиляторов. Такая система позволяет равномерно рассредоточить воздушные потоки в камере даже при очень больших скоростях воздуха (рис. 5).

Конструкция камеры TSD-100 позволяет осуществлять постоянный контроль температуры на образце (функция STT). Отсчет времени выдержки начинается только по достижению образцом заданной температуры. Обычно климатические камеры не контролируют температуру на самом образце. В результате неизвестно, в какой момент времени образец достиг заданной температуры, и нет возможности обеспечить оптимальное по продолжительности время выдержки. На предыдущих моделях требовались предварительные испытания, чтобы определить, за какое время температура образца достигает заданного значения. Только таким способом можно было определить правильную продолжительность испытания. Уникальная функция STT позволяет устранить необходимость предварительных испытаний и надежно обеспечивает оптимальное время выдержки образцов. В результате полно-

Рис. 5 Конструкция камеры TSD-100

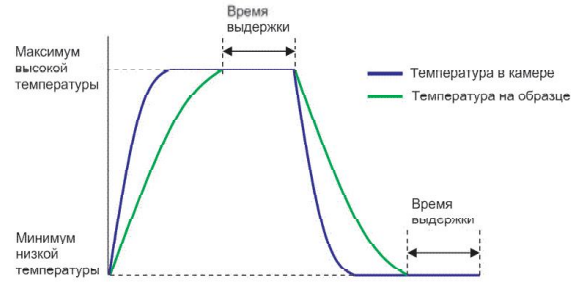
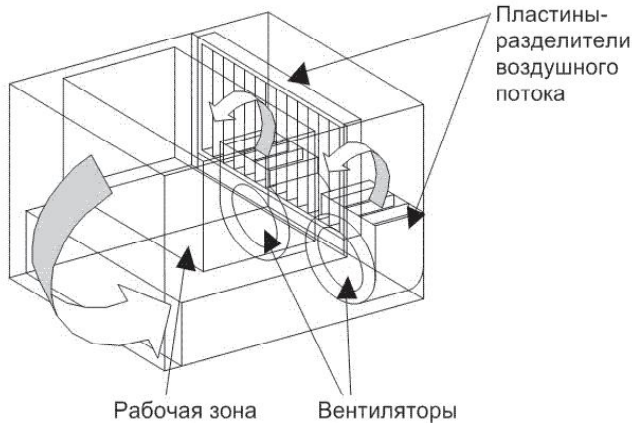


Рис. 6 Функция контроля времени выдержки по температуре образца (STT)

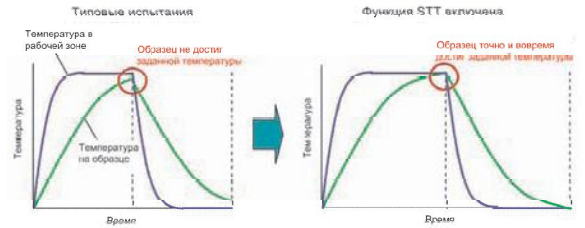


Рис. 7 Эффективность использования функции STT (1): Точные откалиброванные испытания

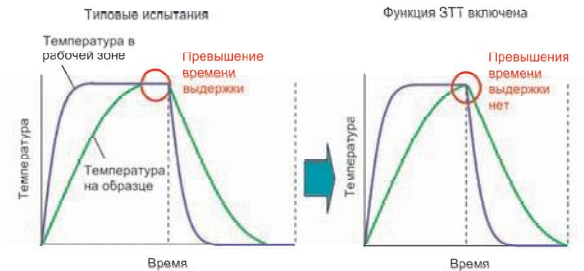


Рис. 8 Эффективность использования функции STT (2): Уменьшение времени испытаний

стью устраняется передержка образцов, что сокращает время испытаний и предохраняет образцы от возможных повреждений (рис. 6, 7, 8).

Контроль температуры на поверхности образцов в камере TSD-100 осуществляется стандартными небольшими термопарами, которые очень просто и удобно закреплять даже на небольших изделиях (рис. 9). Тепловая инерция термопар минимальна и не влияет на результаты измерений.

Конструкция камеры TSD-100 обеспечивает быстрое извлечение образцов после завершения испытаний или во время паузы в испытаниях. Для этого предусмотрена функция ускоренного восстановления параметров окружающей среды в рабочем объеме. Во время восстановления температуры

Рис. 9 Образцы (интегральные микросхемы) с установленной термопарой





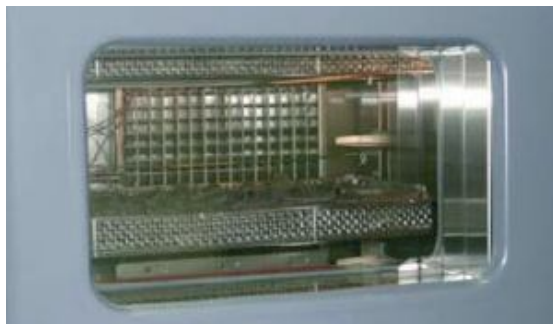


Рис. 10 Смотровое окно (дополнительная опция)

впускной и выпускной каналы, установленные сверху над зоной высокой температуры остаются открытыми, создавая принудительный воздушный поток для вентиляции. Такая конструкция позволяет быстро снизить температуру в камере. В то время как обычным камерам требуется по крайней мере

10 часов, чтобы снизить температуру от 150°C до 55°C (естественное охлаждение), TSD-100 позволяет это сделать за 1 час при загрузке образцами общим весом 10 кг.

Для наблюдения за процессом температурного циклирования камера TSD-100 может быть оборудована смотровым окном размером 340(Ш) x 190(В) мм. Камера TSD-100 — первая камера теплового удара, которая оснащена смотровым окном (рис. 10).

### СООТВЕТСТВИЕ КАМЕРЫ TSD-100 ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ НА ИСПЫТАНИЯ

Таблица 1 Основные поддерживаемые стандарты

Камера TSD-100 соответствует требованиям международных стандартов MIL, IEC и многим другим (таблица 1).

Стандарты		Значения температуры		Время изменения температуры	Время выдержки	Количество циклов
		Высокая температура, °C	Низкая температура, °C			
IEC 60749-25 (JESD22-A104B)	A	+85 (+10, -0)	-55 (+0, -10)	От 5 до 14 мин (на образце)	1/ 5/ 10/ 15 мин.	Не определено
	B	+125 (+15, -0)	-55 (+0, -10)	От 5 до 14 мин (на образце)		
	C	+150 (+15, -0)	-65 (+0, -10)	От 5 до 29 мин (на образце)		
	H	+150 (+15, -0)	-55 (+0, -10)	От 5 до 14 мин (на образце)		
	M	+150 (+15, -0)	-40 (+0, -10)	От 5 до 15 мин (на образце)		
IEC-60068-2-14 Na (JIS C 0025 Na DIN EN 60068-2-14 Na BS EN 60068-2-14 Na)		+200±2 +175±2 +155±2 +125±2 +100±2 +85±2 +70±2	-65±3 -55±3 -40±3 -25±3 -5±3	10% времени выдержки	3 ч 2 ч 1 ч 30 мин. 10 мин. 3 ч, если не определено другого	5
MIL-202G Method 107G	A	+85 (+3, -0)	-55 (+0, -3)	5 мин. (в воздухе)	28 г. и меньше: 15 мин. 28 г — 136 г: 30 мин. 136 г — 1.36 кг: 1 час 1.36 кг — 13.6 кг: 2 часа 13.6 кг — 136 кг: 4 часа Больше 136 кг: 8 часов	1000
	B	+125 (+3, -0)	-65 (+0, -3)			
	C	+200 (+3, -0)	-65 (+0, -3)			
MIL-883F Method 1010.8	A	+85 (+10, -0)	-55 (+0, -10)	Меньше чем за 15 мин. (на образце)	От 10 мин	От 10
	B	+125 (+15, -0)	-55 (+0, -10)			
	C	+150 (+15, -0)	-65 (+0, -10)			
	D	+200 (+15, -0)	-65 (+0, -10)			
	F	+175 (+10, -0)	-65 (+0, -10)			
IPC-TM-650 2.6.6	A	+125 (+3, -0)	-65 (+0, -5)	Не определено	30 мин.	5
	B	+85 (+3, -0)	-55 (+0, -5)			
EIAJ ED-4701		Максимальная температура хранения	Минимальная температура хранения	5 мин. (в воздухе) или 10% от времени выдержки, если это значение больше	15 г. и меньше: от 10 мин. 15 г — 150 г: 30 мин 150 г — 1500 г: 60 мин Больше 1500 г: определяется индивидуально	10
EIAJ ED-7407	A	+125±5	-25±5	Не определено	7 мин после достижения заданной температуры образцом	Не определено
	B	+125±5	-40±5			
	C	+80±5	-30±5			
	D	Макс. рабочая температура ±5°C	Миним. рабочая температура ±5°C			

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРЫ TSD-100

<b>Модель</b>	TSD-100
<b>Метод выдержки температуры</b>	2-зонная система, подвижная рабочая зона с образцами перемещается между холодной и горячей зонами
<b>Рабочая температура окружающей среды</b>	От +5 до +40°C
<b>Производительность*1</b>	
<b>Диапазон температур зоны высокой температуры</b>	От +60°C до +200°C
<b>Диапазон температур зоны низкой температуры</b>	От -65 до 0°C
<b>Точность поддержания температуры</b>	±0.5°C
<b>Зона высокой температуры</b>	
<b>-Предел предварительного нагрева</b>	+205°C
<b>-Время нагрева</b>	До 90 мин от температуры окружающей среды до +200°C
<b>Зона низкой температуры</b>	
<b>-Предел предварительного охлаждения</b>	-77°C
<b>-Время охлаждения</b>	До 90 мин от температуры окружающей среды до -77°C
<b>Параметры изменения температуры на образцах</b>	
<b>Условия</b>	Выдержка в горячей зоне при +150°C 30 мин Выдержка в холодной зоне при -65°C 30 мин Образцы — ИС в пластиковом корпусе, 10 кг
<b>Время изменения температуры</b>	Температура образцов (ИС): до 15 минут
<b>Грузоподъемность рабочей зоны (корзины)</b>	30 кг **
<b>Размеры корзины для образцов</b>	Ш700 x В40 x Г410 мм
<b>Размеры рабочей зоны</b>	Ш710 x В345 x Г410 мм
<b>Объем рабочей зоны</b>	100 л
<b>Внешние габариты</b>	Ш1100 x В1885 x Г1965 мм
<b>Вес</b>	Приблизительно 1100 кг
<b>Электропитание</b>	380 В ~ 3 фазы 4Вт 50 Гц

\* Производительность соответствует требованиям стандарта IEC 60068-3-5:2001.

\*\* При использовании опциональных двух специальных полок (15 кг образцов на 1 полку).

Таблица 2 Основные технические характеристики камеры TSD-100

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребность в новых камерах постоянно увеличивается. Следуя за этой тенденцией, компания Espes разработала климатические камеры, которые позволяют существенно сократить время испытаний и повысить их эффективность и достоверность. Новая камера термоциклирования (теплого удара) компании Espes (Tabai) TSD-100 изготовлена с учетом современных требований испытательных лабораторий всего мира.

Кроме TSD-100 компанией Espes (Tabai) разработана младшая модель — камера TSE-11-A с меньшей рабочей зоной (рис. 11), общие технические характеристики которой приведены в таблице 3.

<b>Модель</b>	TSE-11-A
<b>Метод выдержки температуры</b>	2-зонная система, подвижная рабочая зона с образцами перемещается между холодной и горячей зонами
<b>Объем рабочей зоны</b>	10.9 л
<b>Размеры рабочей зоны</b>	Ш320 x В148 x Г230 мм
<b>Габариты</b>	Ш680 x В1625 x Г1050 мм
<b>Площадь основания</b>	0.71 м <sup>2</sup>
<b>Зона высокой температуры</b>	от +60 до +200°C
<b>Зона низкой температуры</b>	от -65 до 0°C
<b>Скорость изменения температуры на образце</b>	15°C/мин. или быстрее
<b>Время выхода на заданный режим</b>	В течение 5 минут
<b>Выдержка при высокой температуре</b>	+150°C в течение 30 минут
<b>Выдержка при низкой температуре</b>	-65°C в течение 30 минут
<b>Образцы</b>	8кг (по 2 кг на 4 полки)
<b>Компрессор</b>	Воздушное охлаждение
<b>Панель управления</b>	• Цветной ЖК-дисплей, сенсорное управление
<b>Питание</b>	380 В, 3ф, 50 Гц
<b>Макс. ток</b>	17 А
<b>Комплектация</b>	• Колеса (высота настраивается) • Сетевой разъем
<b>Опции</b>	• Модуль записи информации • Устройство доп. охлаждения (жидкий азот или CO <sub>2</sub> )

Таблица 3 Технические характеристики камеры TSE-11-A

Рис. 11 «Младшая сестра» TSD-100 — камера TSE-11-A

