

# Особенности проведения электротермотренировки изделий полупроводниковой электроники

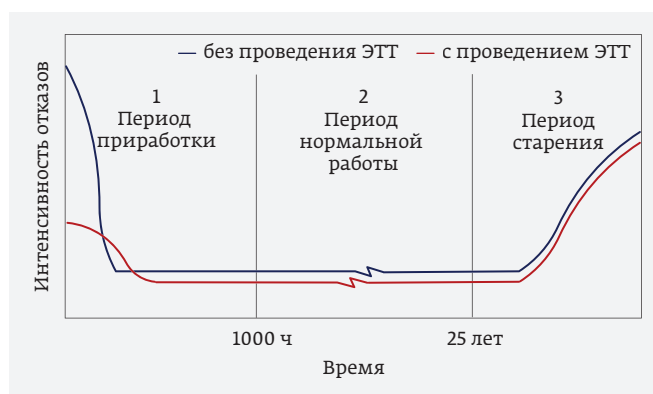
С. Ефименко, к.т.н.<sup>1</sup>, Н. Ковальчук, к.т.н.<sup>2</sup>, В. Смолич<sup>3</sup>

УДК 621.382 | ВАК 2.2.2

Для электронной аппаратуры важно применение высоконадежной компонентной базы (ЭКБ). Одним из наиболее широко распространенных методов уменьшения интенсивности отказов ЭКБ во время эксплуатации аппаратуры является электротермотренировка. В статье приведен обзор и классификация оборудования для проведения электротермотренировки при мелкосерийном и серийном производстве на предприятиях электронной промышленности, а также при входном контроле у потребителей. Представлены основные характеристики стендов ЭТТ, выпускаемых отечественными предприятиями.

**К** изделиям полупроводниковой электроники будем относить микросхемы и полупроводниковые приборы. Как известно, типовая зависимость интенсивности отказов изделий полупроводниковой электроники от времени работы имеет три основных периода: первый – период приработки, второй – период нормальной работы, третий – период старения [1]. Период приработки или период «детских» отказов характеризуется тем, что вначале работы интенсивность отказов велика, а затем с течением времени быстро падает (рис. 1). Период нормальной работы отличается тем, что интенсивность отказов на нем самая низкая и постоянная. На периоде старения (после более 25 лет работы) интенсивность отказов снова начинает расти. Существует несколько методов уменьшения интенсивности отказов в период приработки, наиболее действенным и распространенным из которых является электротермотренировка (ЭТТ). Одновременное воздействие температуры и электрического режима приводит к ускорению выявления скрытых дефектов изделий полупроводниковой электроники и отбраковке потенциально ненадежных приборов.

При проведении ЭТТ производится ускорение отказов, вызванных миграцией ионных загрязнений под



**Рис. 1.** Типовая зависимость интенсивности отказов изделий полупроводниковой электроники от времени

воздействием электрического поля, влиянием дефектов кремния или окисла типа точечных проколов, а также перемежающимися отказами, в том числе вследствие радиоактивности материалов корпуса.

ЭТТ может проводиться в статическом и динамическом режимах. В статическом режиме на микросхему или полупроводниковый прибор подаются заданные напряжения и токи, которые не изменяются в процессе электротермотренировки. В динамическом режиме на испытываемые приборы подаются изменяющиеся режимы напряжений или токов.

В статическом режиме ЭТТ выявляются отказы, вызванные преимущественно миграцией ионных загрязнений под воздействием электрического поля, а в динамическом режиме – главным образом дефектами кремния или окисла типа точечных проколов. Перемежающиеся

<sup>1</sup> ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл», главный конструктор – заведующий лабораторией, SEfimenko@integral.by.

<sup>2</sup> ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл», заместитель генерального директора – главный инженер, NKovalchuk@integral.by.

<sup>3</sup> ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл», ведущий инженер, VSmolich@integral.by.

отказы не выявляются стандартными способами проведения ЭТТ, когда не проводится контроль состояния каждой микросхемы в процессе тренировки. Их можно обнаружить путем непрерывного наблюдения за работой испытуемого прибора, то есть тестирования во время тренировки.

Большинство предприятий электронной промышленности бывшего СССР использовали для проведения ЭТТ стенды типа СТТ ИМП-5400-002, выпускаемые в 1970–1990-е годы. Стенды этого типа позволяют проводить электротермотренировку изделий на 36 платах загрузки, использующих разъем РПП72Г2-2Т3. За прошедшее время разработано и изготовлено огромное количество плат загрузки микросхем, устанавливаемых в стандартные разъемы РПП72Г2-2Т3, позволяющие проводить ЭТТ в статическом и динамическом режимах (рис. 2). При этом наличие контактирования каждого изделия полупроводниковой электроники проверялось на плате перед постановкой в стенд. В процессе проведения ЭТТ проверялось наличие подачи напряжения питания и электрического режима на плату загрузки. Из-за малого количества контактов в разьеме РПП72Г2-2Т3 проведение проверки подачи электрического режима на каждую микросхему ограничено или невозможно. В настоящее время из-за длительной эксплуатации большинство указанных стендов физически изношено. Учитывая необходимость замены устройств для проведения ЭТТ, а также высокую стоимость плат загрузки микросхем (не менее 1000 долларов США за плату), целесообразно предусмотреть использование старых плат загрузки в новых устройствах для проведения электротермотренировки микросхем.

Кроме того, поскольку платы загрузки микросхем постоянно работают при высокой температуре окружающего воздуха, их металлические части под воздействием кислорода и влаги окружающей атмосферы подвергаются коррозии, а неметаллические части – старению, потере прочности. Неметаллические части теряют свои изоляционные свойства и достаточно быстро выходят из строя. Поскольку микросхемы также длительное время находятся под воздействием повышенной температуры воздуха, их выводы окисляются. Появляющийся на них окисел приводит к последующей плохой пайке при сборке электронной аппаратуры. Это ухудшает качество проведения электротермотренировки.

В некоторых современных стендах ЭТТ реализована система подачи

сухого азота, которая обеспечивает снижение концентрации кислорода и уменьшение влажности внутри камеры тепла. Азот подается в камеру с повышенным давлением по отношению к атмосферному. Указанное изменение атмосферы внутри камеры приводит к уменьшению коррозии металлических частей плат загрузки, уменьшению степени старения и увеличению прочности их неметаллических частей. Это позволяет увеличить время работы плат загрузки.

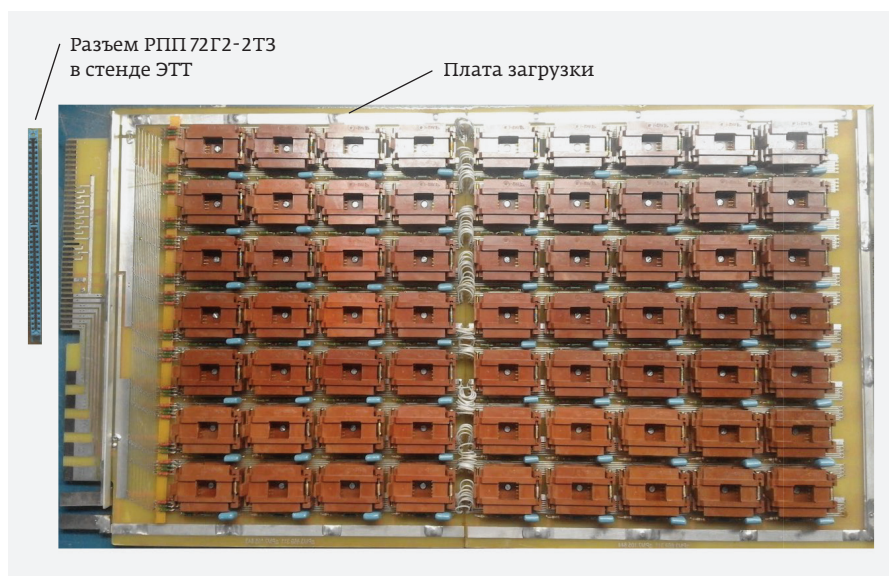
Снижение концентрации кислорода и уменьшение влажности внутри камеры тепла при повышенной температуре приводит к снижению окисления выводов микросхем, проходящих ЭТТ. Отсутствие окисла на выводах микросхем улучшает надежность пайки при сборке электронной аппаратуры. Это повышает качество проведения ЭТТ.

Все стенды ЭТТ условно можно разделить на две группы – стенды, преимущественно используемые в серийном производстве на предприятиях, производящих микросхемы и полупроводниковые приборы (табл. 1), и стенды для ЭТТ преимущественно при проведении входного контроля у изготовителя электронной аппаратуры и мелкосерийном производстве (табл. 2).

## СТЕНДЫ ЭТТ ДЛЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### Стенды СЭТТ ИМЭ-600-02, СЭТТ ИМЭ-600-023

В советское время НИИПМ (г. Воронеж) был основным разработчиком и поставщиком стендов ЭТТ для предприятий электронной промышленности СССР. В настоящее



**Рис. 2.** Типовая плата загрузки для проведения ЭТТ с использованием разъема РПП72Г2-2Т3

Таблица 1. Предлагаемые на рынке системы для проведения ЭТТ в серийном производстве

Параметры	Модель (изготовитель)				
	СЭТТ ИМЭ-600-02, СЭТТ ИМЭ-600-023 (НИИПМ, Воронеж, РФ)	FTT-17.08.XXX (FTT-7.16.XXX, FTT-17.25.XXX) (Sovtest ATE, Курск, РФ)	Formula_BiS (ООО «ФОРМ», Москва, РФ)	ДМТ-146 (ООО «ДМТ Трейдинг», Минск, РБ)	СИТ-210 (АО «НИИЭТ», Воронеж, РФ)
Тип разъема платы загрузки	РПП72Г2-2ТЗ	РПП72Г2-2ТЗ	РПП72Г2-2ТЗ	РПП72Г2-2ТЗ	РПП72Г2-2ТЗ
Количество каналов на одну плату загрузки	64	64	64	64; 220 (опция)	64
Количество плат загрузки	15	8 (16, 25)	32, 64	36	21
Диапазон температур, °С	50-150	25-155	40-150	55-150	85-125
Отклонение температуры в камере, °С	±3	±2	±3-±5	±4	±3-±5
Максимальная тактовая частота, МГц	20 (для ИМЭ-600-02)	20		1; 20 (опция)	5
Источники питания	0-36 В (до 50 А)	До 40 В (до 5 А), внешний - до 500 В (до 70 А)	±20 В, 0-40 В, 0...27В	0,1-36 В (до 40 А)	0-20 В (до 100 А)
Размах выходного сигнала, В	0,7-12	0-15		До 7,5	1-12
Размер платы загрузки, мм	315×590	Опция 315×590	315×615×42	315×590	315×590
Статический режим ЭТТ	+	+	+	+	+
Динамический режим ЭТТ	+	+	+	+	+
Контроль подключения платы загрузки	+	+	+	+	+
Контроль состояния каждой ИМС	-	-	-	Опция	-
Функциональный контроль в процессе ЭТТ	-	-	-	Частичный (опция)	-
Сухой азот	-	-	-	Опция	-

время институт разработал и выпускает широкий ряд стендов ЭТТ, которые могут применяться как для входного контроля у изготовителей электронной аппаратуры, так и в серийном производстве на предприятиях полупроводниковой промышленности. Стенды СЭТТ

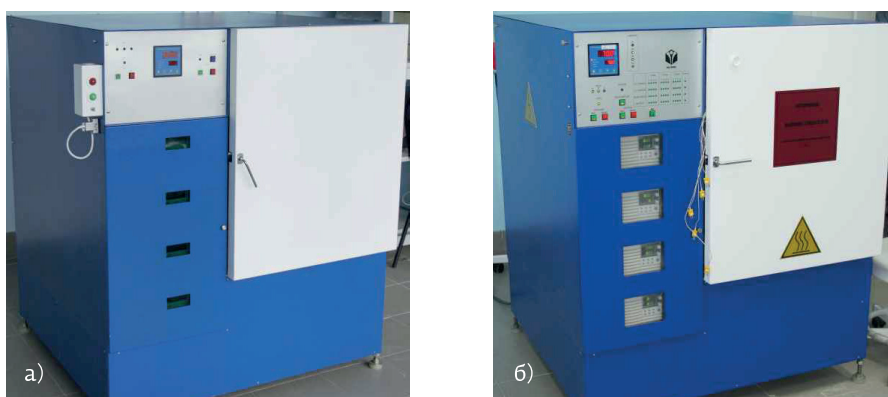
ИМЭ-600-02 и СЭТТ ИМЭ-600-023, выпускаемые НИИПМ, применяются преимущественно в серийном производстве (рис. 3, табл. 1) [2].

Стенды позволяют производить электротермотренировку микросхем, размещенных на 15 платах загрузки.

**Таблица 2.** Предлагаемые на рынке системы для проведения ЭТТ при входном контроле у потребителей и в мелкосерийном производстве

Параметры	Модель (изготовитель)			
	СЭТТ ИМЭ-602-020 (040, 060, 080) (НИИПМ, Воронеж, РФ)	СЭТТ ИМЭ-601-020 (040) (НИИПМ, Воронеж, РФ)	Formula_BiS-2K (ООО «ФОРМ», Москва, РФ)	ДМТ-145 (ООО «ДМТ Трейдинг», Минск, РБ)
Тип разъема платы загрузки	РПП72Г2-2Т3	РПП72Г2-2Т3		
Количество каналов на одну плату загрузки	64	64	64-256	
Количество плат загрузки	2 (4, 6, 8)	4 (2×4)	7	16
Диапазон температур, °С	65-180	65-150	50-140	55-150
Отклонение температуры в камере, °С	±1,5	±1,5	±3-±5	±4
Максимальная тактовая частота, МГц	10	10	До 20	16
Источники питания			±20 В	0,1-35 В
Размах выходного сигнала, В			±10	До 8,0
Размер платы загрузки, мм	315×590	315×590	До 8 ИМС на плату	До 12 ИМС на плату
Статический режим ЭТТ	+	+	+	+
Динамический режим ЭТТ	+	+	+	+
Контроль подключения платы загрузки	-	+	+	-
Контроль состояния каждой ИМС	-	-	+	-
Функциональный контроль в процессе ЭТТ	-	-	+	-
Сухой азот	-	-	+	-

Размеры каждой платы –315х590 мм. Для подключения плат используется разъем РПП72Г2-2Т3, что обеспечивает возможность использования старых плат загрузки, разработанных для стенда СТТ ИМП-5400-002. Стенды обеспечивает отдельное питание пяти плат загрузки в каждой из трех групп, а также совместное питание всех 15 плат загрузки. Стенды позволяют выполнять ЭТТ как в статическом, так и в динамическом режиме с максимальной тактовой частотой до 20 МГц. Диапазон заданий



**Рис. 3.** Стенды ЭТТ производства НИИПМ: а – СЭТТ ИМЭ-600-02; б – СЭТТ ИМЭ-600-023



уровней напряжения цифровой подсистемы – от 0,7 до 12 В. Контроль подачи питания микросхем осуществляется для каждой из 15 плат отдельно. Диапазон доступных напряжений источника питания – от 0 до 36 В при токе до 20 А. В стенде СЭТТ ИМЭ-600-023 применяются четыре источника питания PSW7 30-72 с напряжением до 30 В и током до 72 А и шесть PSW7 30-36 с напряжением до 30 В и током до 36 А.

### Стенды ФТТ-17.08.XXX, ФТТ-17.16.XXX, ФТТ-17.25.XXX

Ряд стендов ЭТТ выпускает ООО «Совтест АТЕ» [3]. Стенды отличаются друг от друга объемом камеры, рассчитанной на 8 (ФТТ-17.08.XXX), 16 (ФТТ-17.16.XXX) и 25 (ФТТ-17.25.XXX) плат загрузки. Функциональные возможности стендов не хуже, чем у стендов НИИПМ. Основные характеристики стендов приведены в табл. 1, а внешний вид представлен на рис. 4. Диапазон температур проведения ЭТТ – от нормальной ( $25 \pm 10$  °С) до 155 °С. Стенды оснащены несколькими источниками питания типа БСС.14-5 или БСС.40-5 с напряжением до 14 или 40 В, соответственно, и током до 5 А. Имеется возможность подключения внешнего источника питания

типа ZUP, LAB-DSP с напряжением до 500 В и током до 70 А. Предприятие предлагает использовать несколько вариантов исполнения плат загрузки в том числе и плату загрузки под разъем РПП72Г2-2Т3 (см. рис. 2).

### Стенд Formula\_BiS

ООО «ФОРМ» специализируется на выпуске тестеров (автоматизированных измерительных систем) для проведения тестирования (измерения электрических параметров и функционального контроля) изделий полупроводниковой электроники. Кроме того, в последнее время компания выпустила два варианта стендов ЭТТ: Formula\_BiS и Formula\_BiS-2K. Стенд Formula\_BiS преимущественно используется в серийном производстве и поставляется в двух вариантах – на 32 и 64 платы загрузки (рис. 5). Formula\_BiS представляет собой испытательную систему модульного типа, в состав которой входит модуль электроники и один (32 платы загрузки) или два (64 платы загрузки) модуля камеры испытательной с системой термостабилизации [4].

По сравнению со стендами ЭТТ других компаний комплексы Formula\_BiS позволяют уменьшить время простоя за счет быстрой замены проходной платы с разъемом под плату загрузки.



Рис. 4. Стенд ЭТТ ФТТ-17 от ООО «Совтест АТЕ»

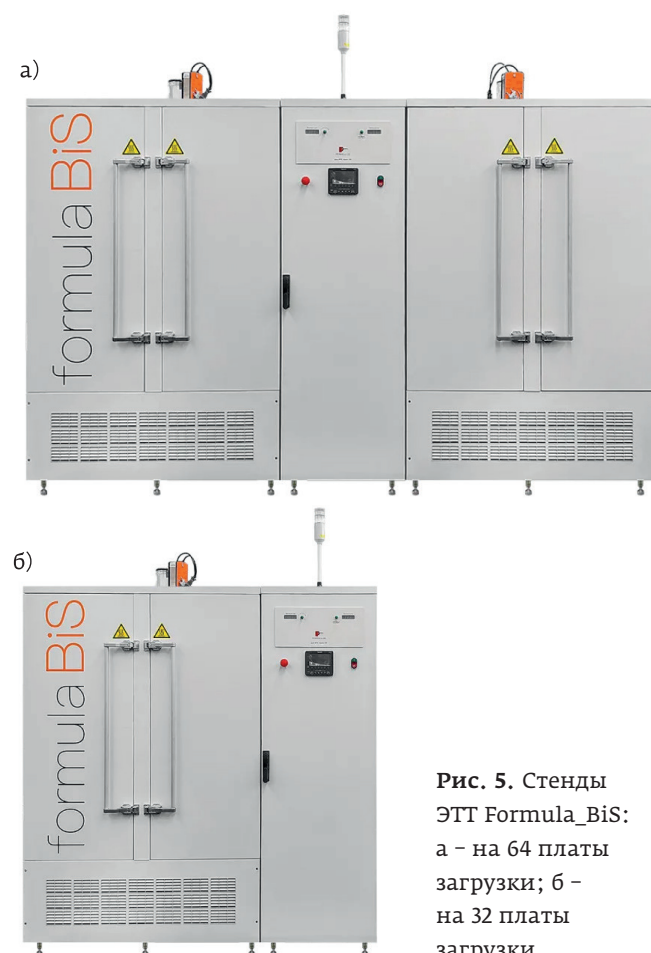


Рис. 5. Стенды ЭТТ Formula\_BiS: а – на 64 платы загрузки; б – на 32 платы загрузки

В состав станда Formula\_BiS может входить промышленный компьютер, который позволяет снизить риск ошибки оператора за счет применения автоматизированной системы контроля и управления процессами ЭТТ. С помощью программных средств можно управлять режимами испытаний, формировать протоколы испытаний, обеспечивать плавный выход на режим напряжения питания ИМС.

Станд Formula\_BiS-2K будет рассмотрен в следующем разделе.

### Станд ДМТ-146

Основными направлениями деятельности компании ООО «ДМТ Трейдинг» являются разработка и изготовление программно-аппаратных измерительных, испытательных, аналитических и промышленных комплексов семейства «ДМТ», проектирование и комплектование центров входного контроля электронных компонентов, метрологических лабораторий и испытательных центров.

«ДМТ Трейдинг» предлагает два типа стандов ЭТТ: ДМТ-145 и ДМТ-146. Станд ДМТ-145 предназначен для использования в мелкосерийном производстве и входном контроле. Он будет рассмотрен в следующем разделе. Для проведения ЭТТ в серийном производстве может быть использован стандарт ДМТ-146 (рис. 6). Стандарт обеспечивает возможность одновременного испытания 36 плат с ИМС. Количество контролируемых ИМС может доходить



Рис. 6. Станд ЭТТ ДМТ-146

до 64 на каждой плате. В общей сложности в стандарт можно загрузить до 2304 ИМС [5].

Регулирование температуры происходит посредством регулятора температуры ТЕРМОДАТ 19Е6. Управление всеми задающими сигналами и температурой осуществляется программным способом с помощью панельного промышленного компьютера Advantech PPC-3120 с сенсорным экраном.

Подключение приборов, входящих в состав станда, к питающей сети осуществляется через вводные автоматические выключатели. В стандарте применяются источники питания ВК Precesion XLN 3640 (до 36 В и до 40 А). Возможны два варианта исполнения – с 6 и 12 источниками питания в стандарте.

В стандарте используются платы загрузки под разъем РПП72Г2-2Т3. В случае использования 220-контактного разъема SULLINS FCB110DYRT возможен контроль состояния каждой микросхемы и частичный функциональный контроль в процессе ЭТТ.

В качестве дополнительной опции в стандарте может быть предусмотрена подача сухого азота.

### Станд СИТ-210

Одним из направлений деятельности АО «НИИЭТ» является разработка испытательного оборудования на основе обширного опыта в сфере проведения испытаний ЭКБ. АО «НИИЭТ» предлагает стандарт СИТ-210, который также может быть использован при проведении ЭТТ в серийном производстве изделий электронной техники (рис. 7, табл. 1). Стандарт обеспечивает возможность одновременного испытания 21 платы, на каждой из которых могут быть расположены от 10 до 50 микросхем [6]. В стандарте используются платы загрузки размером до 315 x 590 мм под разъем РПП72Г2-2Т3.



Рис. 7. Станд ЭТТ СИТ-210

## СТЕНДЫ ЭТТ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

### Стенды СЭТТ ИМЭ-602-020 (040, 060, 080), ИМЭ-601-020 (040)

Помимо рассмотренных выше стендов ЭТТ для серийного производства НИИПМ выпускает и стенды для входного контроля и мелкосерийного производства СЭТТ ИМЭ-602-020 (040, 060, 080) и ИМЭ-601-020 (040) (см. табл. 2) [2]. В этих стендах используются платы загрузки размером до 315x590 мм под разъем РПП72Г2-2ТЗ, то есть возможно применение плат загрузки, разработанных для старых стендов типа СТТ ИМП-5400-002 и стендов для серийного производства ИМЭ-600-02, ИМЭ-600-023. Таким образом все стенды ЭТТ, выпускаемые НИИПМ, совместимы по платам загрузки.

Отличительной особенностью стендов СЭТТ ИМЭ-602-020 (040,060,080) является наличие нескольких независимых камер малого объема. Одна камера позволяет проводить тренировку двух плат размером до 315x590 мм. Поскольку стенды содержат от одной (СЭТТ ИМЭ-602-020) до четырех камер (СЭТТ ИМЭ-602-080), то одновременно могут проходить тренировку от двух до восьми плат загрузки. Данные стенды оптимально подойдут для использования в НИИ, КБ и дизайнерских центрах, ориентированных на выпуск мелкосерийных партий радиоэлектронных компонентов.

Стенды СЭТТ ИМЭ-601-020 и СЭТТ ИМЭ-601-040 предназначены для проведения ЭТТ средних и малых партий микросхем. Стенд СЭТТ ИМЭ-601-020 содержит одну камеру, а СЭТТ ИМЭ-601-040 – две камеры. Одна камера позволяет поставить четыре платы загрузки, поэтому одновременно в стенде можно проводить тренировку от четырех до восьми плат.

### Стенд Formula\_BiS-2K

ООО «ФОРМ» предлагает еще один стенд ЭТТ – Formula\_BiS-2K, который отличается тем, что позволяет проводить полный функциональный контроль тренируемых микросхем в процессе ЭТТ (рис. 8, табл. 2) [4]. В его состав включен тестер Formula-2K, который используется для проведения полного тестирования параметров интегральных микросхем. Кроме того, данный стенд позволяет проводить тренировку микросхем в среде сухого азота.

Однако дополнительные функции ограничивают число одновременно тренируемых микросхем – до 8 шт. на плате и до 56 шт. в стенде. Кроме того, стенд не совместим с ранее разработанными платами загрузки, поскольку не использует разъем РПП72Г2-2ТЗ.

### Стенд ДМТ-145

ООО «ДМТ Трейдинг» также предлагает стенд ЭТТ ДМТ-145, который может быть использован в мелкосерийном



Рис. 8. Стенд ЭТТ Formula\_BiS-2K

производстве и входном контроле (рис. 9, табл. 2). В стенде используется оригинальный разъем, позволяющий размещать до 12 микросхем типа 1533ЛАЗ на плате и до 192 в стенде [5].



Рис. 9. Стенд ЭТТ ДМТ-145 (вид с двух сторон)



\*\*\*

Следует отметить, что некоторые отечественные производители аппаратуры (ОАО РКС, «НПЦ ЭлТест» и др.) выпускают собственные стенды ЭТТ [7, 8]. Однако они не совместимы с существующей на предприятиях оснасткой и отличаются высокой стоимостью. Кроме того, широкую номенклатуру стендов выпускают зарубежные компании, такие как EDA Industries (Италия), Incal Technology (США), DI Corporation (Корея), Tamagawa Electronics (Япония), Loranger International Corporation (США), AEHR Test Systems (США) [9–14]. Стенды этих производителей в настоящее время недоступны из-за санкционных ограничений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов М., Строгонов А., Арсентьев С., Емельянов В., Плебанович В. Отбраковочные испытания как средство повышения надежности партий ИС// Технологии в электронной промышленности. 2006. №1. с. 70–75.
2. <http://vniipm.ru/ru/produkcija/category/view/23>
3. <http://sovtest-ate.com/equipment/ftt/>
4. <https://www.form.ru/ett/bis/>
5. <http://dmt.by/production/ispytatelnye-kompleksy.html>
6. [https://niiet.ru/06\\_12\\_2024/](https://niiet.ru/06_12_2024/)
7. Патент РФ №2485529 «Система для проведения испытаний на безотказность и электротермотренировки цифровых интегральных схем (ИС) и сверхбольших интегральных схем (СБИС)», МПК G01R 31/00, 20.06.2013.
8. [https://www.est-test.ru/equipment/oborudovanie2/oborudovanie2\\_23.html](https://www.est-test.ru/equipment/oborudovanie2/oborudovanie2_23.html)
9. <http://www.eda-industries.com>
10. <http://www.incal.com/>
11. <http://www.di.co.kr/>
12. <http://www.tmele.jp>
13. <http://www.loranger.com>
14. <http://www.aehr.com>