

# Тепловой контроль объектов на базе термоэлектрических сборок

Пётр ШОСТАКОВСКИЙ  
info@kryotherm.ru

**Перегрев ответственных блоков и элементов в технике, в частности в электронике и электротехнике, доставляет немало проблем разработчикам. В стандартном варианте снижение надежности аппаратуры обратно пропорционально квадрату роста температуры эксплуатации. Физический объем таких блоков и узлов в электронике и электротехнике не превышает нескольких десятков кубических дециметров. Применение компрессорных систем охлаждения для таких объемов зачастую нецелесообразно как с экономической точки зрения, так и исходя из требуемого дополнительного объема для монтажа системы.**

## Введение

Взвешивая все «за» и «против» существующих способов отвода тепла и охлаждения, инженер-конструктор, перед которым встает необходимость построения эффективной системы термостабилизации, во многих случаях приходит к выводу о целесообразности применения в ней термоэлектрического охлаждения на основе термоэлектрических модулей (элементов Пельтье). При этом у разработчика возникает целый ряд специфических вопросов, связанных с особенностями применения термоэлектрических модулей. Круг этих вопросов определяется зависимостью электрических параметров модулей и их теплофизических характеристик в конкретной термоэлектрической системе температурной стабилизации объекта. Для выбора оптимального решения этих достаточно сложных задач компания «КРИОТЕРМ» разработала и разместила в открытом доступе на своем сайте программное обеспечение, позволяющее, переходя от простого к сложному, самостоятельно разрабатывать высокоэффективные термоэлектрические системы.

Однако даже при наличии программного обеспечения временные и материальные затраты на разработку, изготовление прототипа и испытания остаются весьма ощутимыми, они удлиняют время выхода на рынок нового решения или продукта. Альтернативой такому подходу является выбор на этапе проработки концепции термостабилизации с применением термоэлектрической сборки (ТЭС) в качестве базового элемента системы охлаждения и нагрева.

Многолетний опыт компании «КРИОТЕРМ» позволяет предлагать эффективные ТЭС, представленные в стандартном ряде

продукции компании или изготавливаемые в соответствии со специальными требованиями заказчика. Сегодня компания «КРИОТЕРМ» — крупнейший в России и один из ведущих мировых разработчиков и производителей высококачественных термоэлектрических модулей (ТЭМ) и систем на их основе. Особенность компании «КРИОТЕРМ» — в наличии полного цикла разработки и изготовления термоэлектрической продукции с собственным производством полупроводникового вещества для ТЭМ, высокотехнологичным оборудованием сборочного производства и специализированным испытательным оборудованием. Система менеджмента качества компании соответствует стандартам ИСО 9001-2000.

Надежность предлагаемых решений подтверждена многочисленными испытаниями, в том числе и у широкого круга заказчиков в различном промышленном и медицинском оборудовании. Неоспоримым достоинством ТЭС является низковольтное питание постоянным током. Это позволяет подключать их к стандартным источникам с напряжением питания 12, 24 и 48 В. Безопасное для человека низковольтное питание создает существенное преимущество перед приборами с питанием от сети переменного тока 220/380 В. При этом ТЭС не создает переменных электромагнитных полей и дает возможность плавного включения и выключения для сглаживания пусковых токов. Это бывает важно для ряда промышленных и научных применений.

В дополнение к вышесказанному отметим, что ТЭС можно применять не только для высокоэффективного охлаждения, но и для нагрева термостатируемого объекта с эффективностью  $>1$ , когда к переносимому эффектом Пельтье с внешней («холодной» в дан-

ном случае) стороны сборки к нагреваемому (термостатируемому) объекту добавляется Джоулево тепло, выделяемое в сборке при протекании электрического тока питания.

Компания «КРИОТЕРМ» выпускает ряд стандартных ТЭС различных типов теплового обмена и величиной переносимой тепловой мощности. Наряду со стандартными видами сборок «КРИОТЕРМ» осуществляет разработку и поставку ТЭС, специализированных под конкретное применение у заказчика. Это позволяет максимально оптимизировать эффективность применения термоэлектрической температурной стабилизации (охлаждение/нагрев) объекта.

## Состав ТЭС

Термоэлектрические сборки являются компактными тепловыми насосами, которые абсорбируют тепловую энергию с одной стороны и рассеивают ее на другой, «горячей» стороне сборки. Их применение позволяет осуществлять термостабилизацию объектов при температуре ниже или выше температуры окружающей среды.

В основе любой ТЭС — термоэлектрический модуль: конструктивно завершенное термоэлектрическое устройство, в котором единичным элементом является термопара,

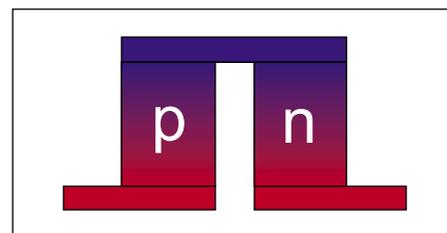


Рис. 1. Полупроводниковая термопара

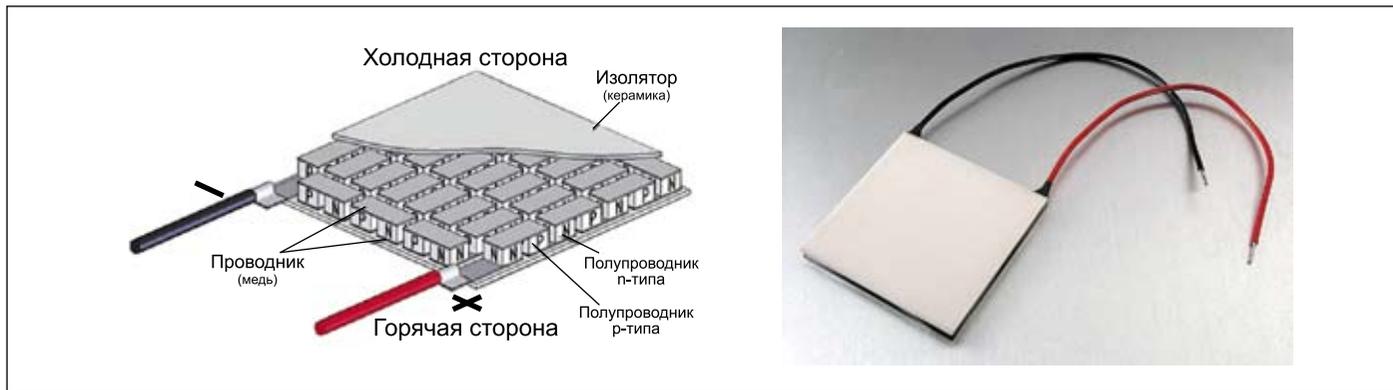


Рис. 2. Конструктивное исполнение и внешний вид ТЭМ

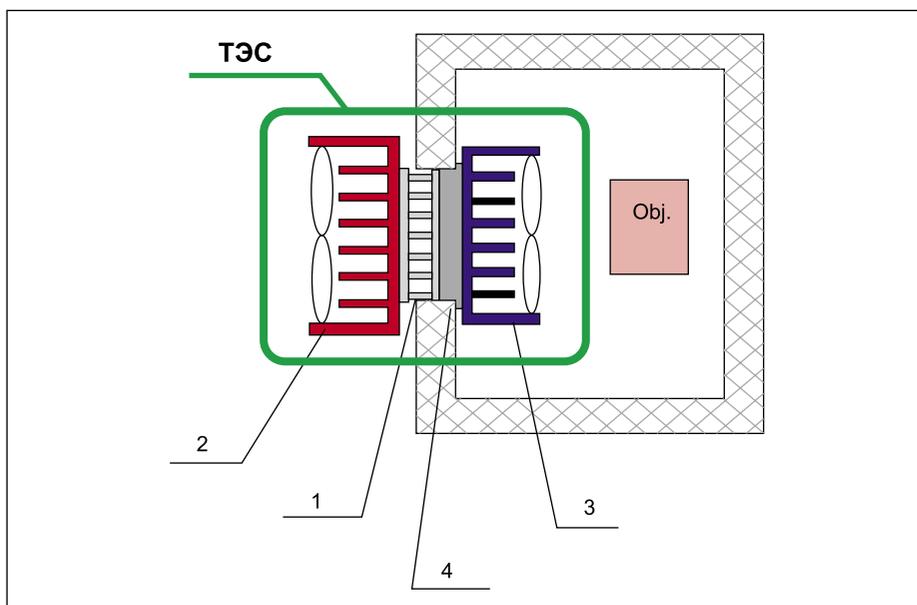


Рис. 3. Структурная схема термоэлектрической сборки «воздух-воздух» в составе герметичного термостата:  
1 — термоэлектрический модуль (элемент Пельтье); 2 — радиатор «горячей» стороны;  
3 — радиатор «холодной» стороны; 4 — теплопровод

**Термоэлектрическая сборка «воздух-воздух»**

Термоэлектрическая сборка «воздух-воздух» (условное обозначение AA) в силу своей универсальности и простоты применения получила наибольшее распространение. В ней к обеим сторонам ТЭМ присоединяются радиаторы, у которых теплообмен обеспечивается конвекцией воздушного потока, как правило, интенсифицируемый вентиляторами (рис. 3).

Специальное подключение с отдельным электропитанием для ТЭМ и вентиляторов позволяет применять реверсивное включение ТЭМ и, в случае необходимости, использовать их в режиме высокоэффективного нагрева.

Использование радиаторов с развитой поверхностью позволяет с минимальными температурными потерями передавать тепло от охлаждаемого объекта на холодную сторону модуля и с горячей стороны модуля — в окружающую среду. Обдув радиаторов при помощи вентиляторов делает этот процесс еще более эффективным. Теплоизоляция, установленная между радиаторами, препятствует обратному переносу тепла к охлажда-

состоящая из двух разнородных полупроводниковых элементов с *p*- и *n*-типами проводимости (рис. 1).

Термоэлектрические элементы (термопары) соединяют между собой при помощи коммутационных пластин из меди (рис. 2). В стандартном термоэлектрическом модуле термопары помещаются и соединяются последовательно между двух керамических пластин на основе оксида или нитрида алюминия, при этом с точки зрения тепловых потоков все термоэлектрические элементы соединены параллельно.

**Виды конструктивного исполнения ТЭС**

В зависимости от предназначения, плотности отводимого теплового потока и способа обмена тепловыми потоками между объектом и внешней средой ТЭС выполняются с различными конструкциями теплообменников. Наибольшее распространение

получили теплообменники с воздушным (Air) или жидкостным (Liquid) типом передачи тепла. Передача тепла может также осуществляться с помощью прямого теплового контакта поверхности (Surface) сборки с контролируемым объектом.

Таким образом, конструктивное исполнение термоэлектрических сборок может быть обозначено сочетанием двух букв из ряда A (Air), L (Liquid) и S (Surface).

Наименование ТЭС состоит из цифр, первая группа которых обозначает максимальную холодильную мощность, получаемую внутри ТЭС на термоэлектрических модулях, вторая — напряжение питания ТЭС, и двух букв, обозначающих конструктивное исполнение радиаторов (вида теплообмена) с каждой стороны сборки. Например, условное обозначение ТЭС 380-24-AA соответствует термоэлектрической сборке с максимальной холодильной мощностью на термоэлектрических модулях 380 Вт, с напряжением питания 24 В и типом теплового обмена «воздух-воздух».



Рис. 4. Внешний вид термоэлектрических сборок типа «воздух-воздух» (AA)

Таблица 1. Основные параметры термоэлектрических сборок типа «воздух-воздух»

Наименование	Номинальный рабочий ток ( $I_{\text{раб}}$ ), А	Номинальное рабочее напряжение ( $U_{\text{раб}}$ ), В	Холодильная мощность ( $Q_c$ ), Вт	Вес, кг	Размеры, мм		
					Длина	Ширина	Высота
60-24-АА	2,8	24	46	2,8	240	150,2	155
60-12-АА	9	12	40	2,8	240	150,2	155
120-24-АА	5,3	24	60	3,7	320	150,2	155
120-12-АА	15,2	12	60	3,7	320	150,2	155
180-24-АА	5,8	24	85	5,7	480	150,2	155
380-24-АА	10,4	24	210	6,4	252	200	210
380-48-АА	5,8	48	210	6,4	252	200	210

Примечание. Холодильная мощность при  $T_{\text{окр. ср.}} - T_{\text{хол. рад.}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{окр. ср.}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

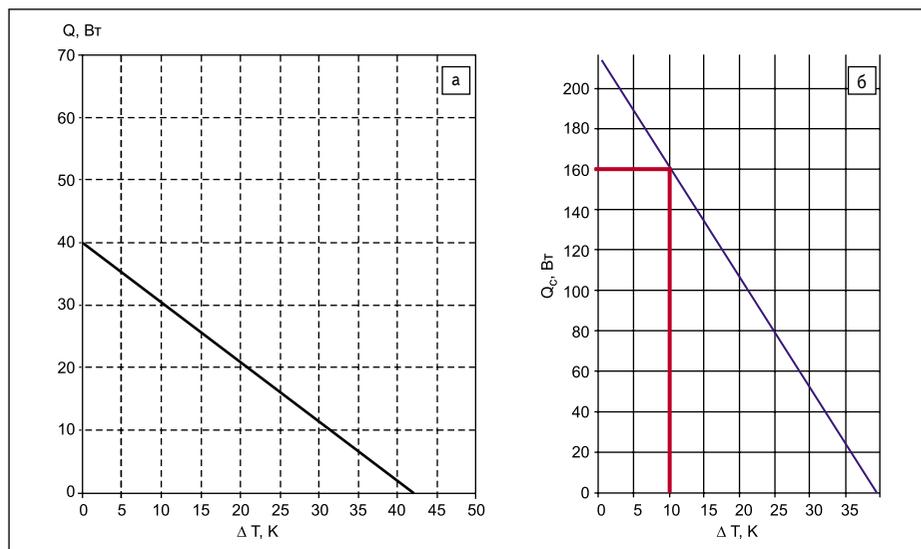


Рис. 5. Типовые нагрузочные характеристики термоэлектрических сборок: а) 60-12-АА; б) 380-24-АА

емому объекту. Основные параметры этого типа сборок приведены в таблице 1.

Как правило, термоэлектрические сборки работают в режиме, промежуточном между максимальной мощностью и максимальной разностью температур. Для областей применения ТЭС «воздух-воздух» характерен выбор рабочей точки с перепадами температур порядка 5...20 °С. Для примера рассмотрим нагрузочную характеристику ТЭС 380-24-АА (рис. 5б): при тепловой нагрузке 160 Вт она обеспечит перепад температур 11 °С.

Для лучшего понимания работы ТЭС любого конструктивного исполнения приведем график распределения температур внутри сборки вблизи термоэлектрического модуля (рис. 6) для случая работы без тепловой нагрузки (режим максимальной разности температур). Наибольшая разность температур достигается на спах термоэлектрических элементов внутри модуля. На графике  $T_{cj}$  — температура холодных спаев (cold junctions),  $T_{hj}$  — температура горячих спаев (hot junctions). По мере удаления от них температура холодной стороны ТЭС повышается, а горячей — понижается, таким образом, разность температур, обеспечиваемая ТЭС, всегда меньше максимальной разности температур, обеспечиваемой термоэлектрическим модулем. (Для однокаскадных модулей

компании «КРИОТЕРМ» максимальная разность температур составляет 76 К.)

Важным параметром, характеризующим надежность ТЭС «воздух-воздух», является гарантийное время наработки на отказ вентиляторов, входящих в состав ТЭС. Следует отметить, что именно вентиляторы — наименее надежные узлы сборок «воздух-воздух». Для стандартного варианта поставки наработка на отказ лежит в пределах гарантийного срока и составляет порядка 10000 часов. Вне всякого сомнения, среднее время наработки на отказ без учета надежности вентиляторов в несколько раз превышает приведенную цифру, однако для ответственных применений на ТЭС могут быть установлены вентиляторы с гарантированным временем наработки на отказ не менее 40000 и 70000 часов.

Диапазон рабочих температур ТЭС также определяется интервалом рабочих температур вентиляторов, установленных на радиаторах холодной и горячей сторон, и для стандартного варианта поставки составляет  $-20...+60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Диапазон рабочих температур может быть расширен до  $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ , причем при температуре ниже  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  наружный вентилятор должен быть отключен.

Следует отметить и еще один важный во многих случаях параметр — уровень шума, создаваемый ТЭС. И в этом случае он

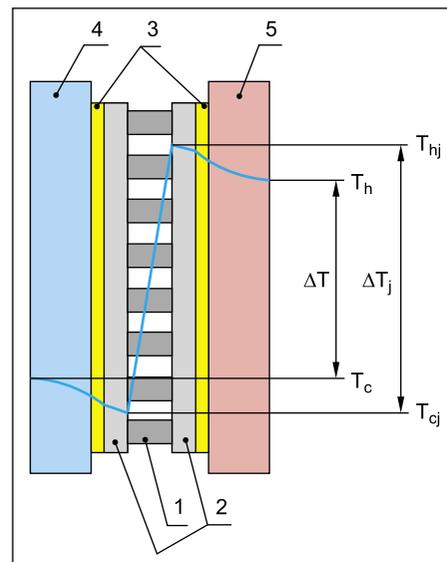


Рис. 6. График распределения температур

(синяя линия) внутри ТЭС вблизи термоэлектрического модуля:  
1 — термоэлектрические элементы;  
2 — керамические пластины модуля;  
3 — термопроводящая паста;  
4 и 5 — радиаторы «холодной» и «горячей» стороны

тоже определяется вентиляторами, их количеством и типом. Например, для стандартного варианта сборки типа 380-24-АА, в состав которой входят три вентилятора, уровень шума составляет 42 дБ.

### Термоэлектрическая сборка «жидкость-жидкость»

Термоэлектрическая сборка «жидкость-жидкость» — наиболее мощная ТЭС с точки зрения плотности тепловых потоков через термоэлектрические модули. В этой сборке к обеим сторонам ТЭМ присоединяются радиаторы с жидкостным теплообменом, позволяющие осуществлять наиболее эффективный отвод тепла. В таких сборках, как правило, устанавливают несколько мощных ТЭМ с суммарной мощностью несколько сот ватт. В частности, такие ТЭС позволяют исключить применение проточной воды для охлаждения объектов. ТЭС «жидкость-жидкость» являются основой чиллеров (to chill — быстро охладить) технологического оборудования, состоящего из ТЭС, радиатора, снабженного вентиляторами для сброса тепла в окружающую среду, и системы циркуляции рабочей жидкости (вода, этиленгликоль и др.) с насосами по горячей и холодной сторонам (рис. 9). Устройство выполняется в виде компактного, отдельно стоящего блока, имеет встроенный контроллер управления и применяется при построении различных технологических процессов, а также в медицине.

Термоэлектрическая сборка «жидкость-жидкость» 400-24-LL (400-LT) (рис. 7) имеет алюминиевые жидкостные теплообменники и изготавливается на основе мощных термоэлектрических модулей. Оригинальные



Рис. 7. Внешний вид термоэлектрической сборки «жидкость-жидкость» 400-24-LL (400-LT)

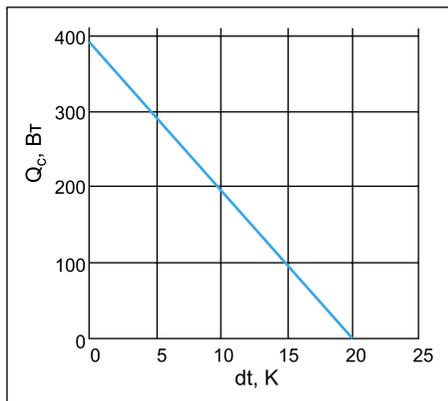


Рис. 8. Типовая нагрузочная характеристика термоэлектрической сборки «жидкость-жидкость» 400-24-LL (400-LT)

технические решения, точность изготовления всех деталей и использование высокоэффективных термоэлектрических модулей обеспечивают высокие параметры выпускаемых сборок и их высокую надежность (табл. 2 и рис. 8).

На рис. 9 схематично изображена ТЭС типа «жидкость-жидкость» с внешним контуром теплообмена, который в случае необходимости может быть заменен проточной водой.

**Термоэлектрическая сборка «Холодная поверхность»**

Это третья конструктивная разновидность ТЭС. В такой сборке (рис. 10) одна сторона

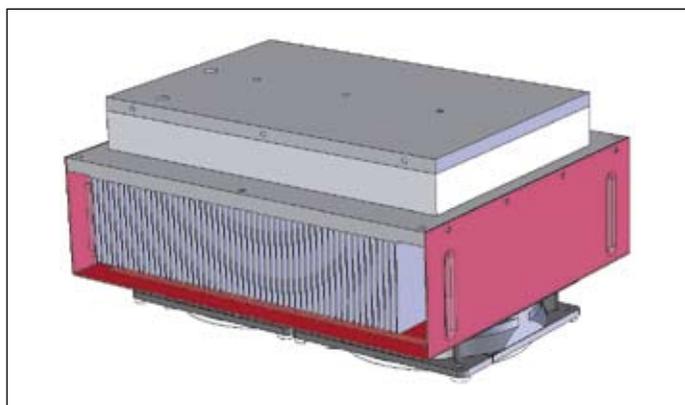


Рис. 10. ТЭС «холодная поверхность – воздух (SA)» на базе сборки 380-24-AA. Холодильная мощность — 250 Вт

Таблица 2. Основные параметры термоэлектрических сборок типа «жидкость-жидкость»

Наименование	Номинальный рабочий ток (Iраб), А	Номинальное рабочее напряжение (Uраб), В	Холодильная мощность (Qc), Вт	Вес, кг	Размеры, мм		
					Длина	Ширина	Высота
400-24-LL (400-LT)	24,5	24	400	5	247	204	79
400-24-LL-M	67		650				

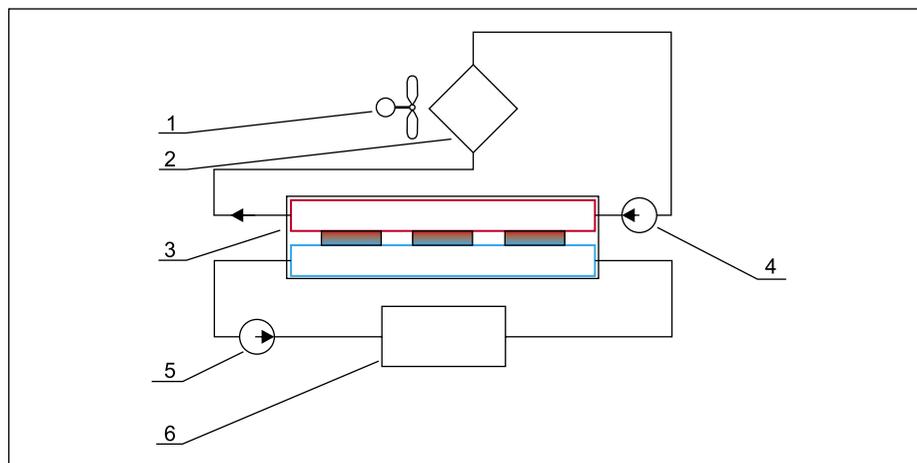


Рис. 9. Схема включения сборки «жидкость-жидкость» с автономным жидкостным контуром: 1 — вентилятор; 2 — теплообменник «жидкость-воздух»; 3 — сборка «жидкость-жидкость»; 4 — насос горячего контура; 5 — насос холодного контура; 6 — объект термостатирования

выполнена в виде металлической пластины (так называемой «холодной поверхности»). Такие сборки позволяют осуществлять отвод тепла и термостатирование объекта в непосредственном тепловом контакте, без промежуточного звена в виде воздушного или жидкостного радиатора. Отвод тепла с другой стороны таких сборок может осуществляться с помощью жидкостного или воздушного радиатора. Такие сборки нашли широкое применение в медицине и промышленности при создании термостатированных ванн различного назначения, а также для интенсификации отвода тепла от двигателей и других чувствительных к перегреву узлов и механизмов.

Остальные варианты конструктивного исполнения ТЭС являются комбинацией способов отвода тепла от объекта и сбрасывания

его в окружающую среду, например сборки типа «воздух-жидкость» (AL), «жидкость-воздух» (LA), «холодная поверхность – воздух» (SA) и «холодная поверхность – жидкость» (SL).

В зависимости от решаемых задач можно условно обозначить характерные области рабочих точек для различных типов ТЭС (рис. 11).

Нижняя по мощности граница свойственна термоэлектрическим сборкам, применяемым в электронике (область 1), верхняя — технологическому оборудованию с применением мощных ТЭС «жидкость-жидкость» (область 2).

Область максимальной разности температур (область 3) на этом графике занимают ТЭС, построенные с применением мощных 2-каскадных и 4-каскадных ТЭМ. Их особен-

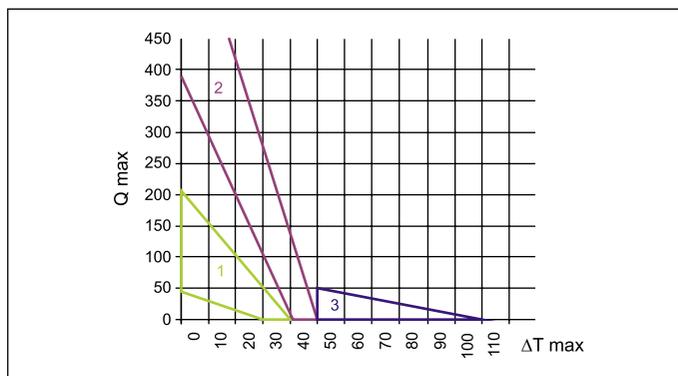


Рис. 11. Характерные области рабочих точек для различных типов ТЭС: 1 — ТЭС «воздух-воздух»; 2 — ТЭС «жидкость-жидкость»; 3 — ТЭС на основе 2- и 4-каскадных термоэлектрических модулей

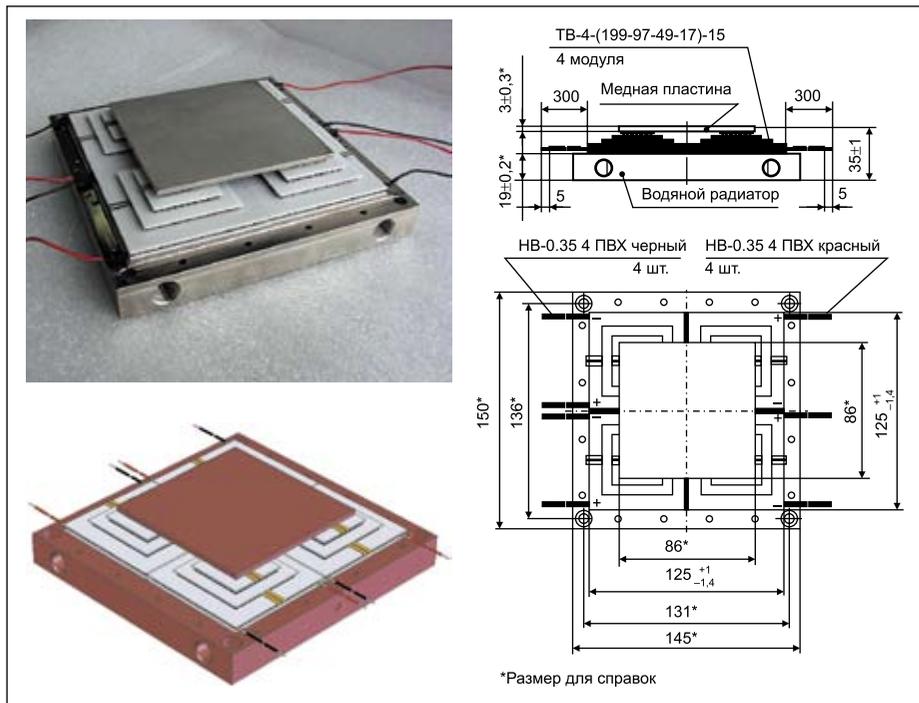


Рис. 12. ТЭС типа «холодная поверхность — жидкость» (SL) на базе 4-каскадных модулей

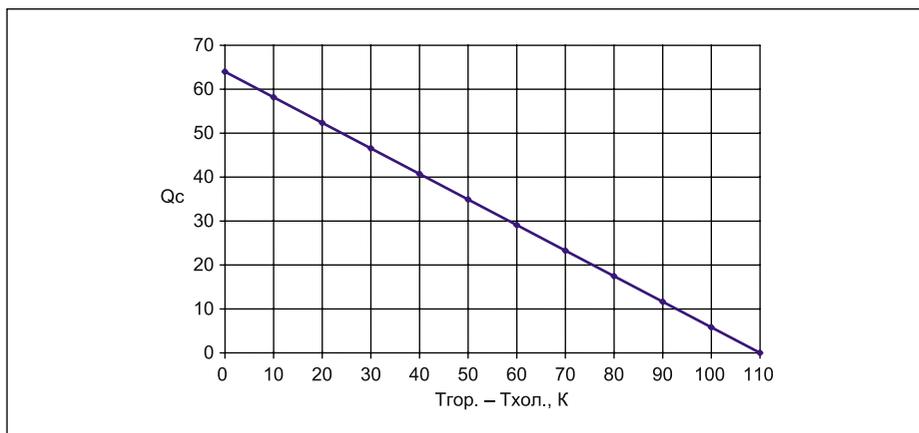


Рис. 13. Нагрузочная характеристика ТЭС на базе 4-каскадных модулей

ность — в возможности обеспечения большего, по сравнению с ТЭС в стандартном исполнении, перепада температур в сочетании с большой (до 100 Вт от одного 2-каскадного модуля) холодильной мощностью. Следует отметить, что применение таких сборок целесообразно только в случае, если перед разработчиком стоит задача получения разности температур, недостижимой с применением обычных сборок.

Получение максимально возможной разности температур при минимальной тепловой нагрузке, определяемой только натеканием тепла извне через теплоизоляцию, — задача для ТЭС с применением многокаскадных модулей. Именно эта область параметров таких ТЭС представляет интерес для разработчиков. Так, например, компактная по габаритам ТЭС (150×150×35 мм), состоящая из четырех термоэлектрических модулей

ТВ-4-(199-97-49-17)-1,5 (рис. 12), собранных на радиаторе с водяным охлаждением, позволяет получить охлаждение объекта до температуры минус 85 °С (рис. 13). Это становится возможным при соблюдении ряда условий по термоизоляции и эффективному съему тепла с помощью жидкостного радиатора.

Основные параметры сборки:

- максимальный рабочий ток  $I_{\max} — 26,7$  А;
- максимальное рабочее напряжение  $U_{\max} — 23,6$  В;
- максимальная разность температур  $\Delta T_{\max} — 109$  К;
- максимальная холодопроизводительность  $Q_{\max} — 64$  Вт.

Совмещение двух таких сборок друг напротив друга (рис. 14) позволяет строить современные компактные приборы для экспресс-определения температуры помут-

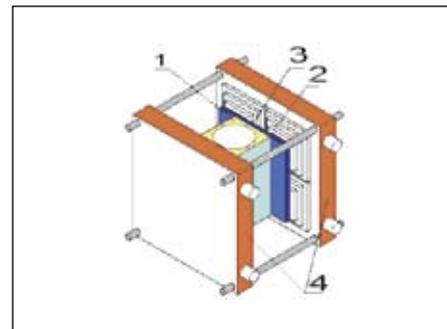


Рис. 14. ТЭС на основе 4-каскадных модулей:  
1 — охлаждаемый объект (стакан);  
2 — 4-каскадный модуль;  
3 — «холодная поверхность» (медная пластина);  
4 — жидкостный радиатор «горячей» стороны

нения, начала кристаллизации и кристаллизации светлых нефтепродуктов.

Здесь необходимо отметить, что ТЭС с многокаскадными модулями не могут быть использованы для эффективного нагрева объекта за счет реверсивной подачи электропитания.

### Области применения ТЭС

Диапазон отводимых мощностей с помощью перечисленных выше ТЭС лежит в интервале от единиц до нескольких сотен Вт. Основные области применения: термостабилизация (управление температурой) широкого спектра электронных и электрических приборов, устройств и компонентов, таких как лазерные диоды оптического и медицинского применений, боксов для хранения медицинских препаратов, и термостабилизация промышленных агрегатов. Широкое распространение получили термоэлектрические сборки в телекоммуникационном оборудовании, например для обеспечения температурного режима аккумуляторов, ресурс работы которых резко снижается при перегреве.

### Преимущества ТЭС охлаждения и температурной стабилизации

ТЭС обладают рядом преимуществ по сравнению с другими способами охлаждения. Например, обычные радиаторные системы охлаждения с вентиляторным обдувом не позволяют получить температуру охлаждаемого объекта ниже температуры окружающей среды. Если сравнивать термоэлектрические системы охлаждения с компрессорными системами, то среди очевидных преимуществ следует отметить:

- Компактность и относительно малый вес: ТЭС не требуют большой установочной площади.
- Возможность установки в любом пространственном положении.
- Малый уровень вибраций, определяемый только маломощными вентиляторами.
- Экологическая безопасность (отсутствие хладагентов).

- Отсутствие значительных пусковых токов, возможность плавного запуска.

### Порядок выбора ТЭС

Прежде чем приступить к конструированию термоэлектрической системы охлаждения, инженер должен быть готов ответить на следующие вопросы:

1. Каково количество тепла должно быть отведено от охлаждаемого объекта при заданной его температуре?
2. Насколько важна скорость выхода на режим при включении и скорость реакции на изменения температуры охлаждаемого объекта?
3. Каков интервал рабочих температур и как быстро окружающая температура может меняться во времени?
4. Каков уровень натекания тепла к охлаждаемому объекту за счет теплопроводности, конвекции и/или радиации?
5. Какая поверхность и объем доступны для ТЭС?
6. Какая электрическая мощность доступна для работы ТЭС?
7. С какой точностью необходимо поддерживать температуру охлаждаемого объекта?

Более подробно рассмотрим первый вопрос. Для правильного выбора ТЭС разработчику необходимо определить тепловую мощность, которую нужно будет отвести с помощью сборки. Эта мощность состоит из пассивной и активной мощности, выделяемой объектом, плюс значение уровня натекания тепла извне. Вторым, не менее важным параметром является требуемая максимальная разность температур, определяемая для наихудших условий работы ТЭС. Так, в условиях работы на охлаждение, необходимая разность температур будет исчисляться от максимально допустимой температуры окружающей среды, а в режиме нагрева, соответственно, от минимально допустимой. Знание требуемых величин разности температур и суммарной отводимой при охлаждении мощности позволяет выбрать рабочую точку на нагрузочной характеристике (рис. 5б), а также определить необходимое количество ТЭС в случае недостаточности мощности одной ТЭС.

Немаловажным фактором, определяющим возможность применения ТЭС, является класс защиты от воздействия внешней среды. Термоэлектрические модули, входящие в состав ТЭС, имеют герметизацию, гарантирующую возможность эксплуатации практически в любых условиях. IP-класс стандартного варианта поставки определяется наличием выводной колодки для подключения проводов питания и вентиляторов, при этом следует иметь в виду, что поверхность радиаторов в процессе эксплуатации не должна быть запыленной. Базовый вариант соответствует классу IP24 и может быть улучшен с помощью специальных мер.

### Некоторые задачи охлаждения и термостатирования, решаемые с применением ТЭС

В связи с увеличением объемов передаваемой и обрабатываемой информации растет плотность размещения оборудования в шкафах и стойках, повышается и выделяемое внутри оборудования тепло. Особое значение приобретает термоэлектрическое охлаждение в герметично закрываемой аппаратуре. Для относительно небольших шкафов и стоек с рабочим объемом до 100 дм<sup>3</sup> (например, часть стойки с особо чувствительным к перегреву оборудованием) применяется температурная стабилизация с термостатированием или локальное кондиционирование с помощью термоэлектрическихборок (рис. 15).

В автомобильной промышленности ТЭС широко используются в различных системах охлаждения-нагрева. Это обусловлено тем, что напряжение питания термоэлектрических модулей совпадает с напряжением бортовой сети, а компрессорное охлаждение трудно применимо в связи с механическими вибрациями и ударами. Например, ТЭС широко применяются для местного охлаждения или нагрева сидений в соответствии с индивидуальными предпочтениями водителя и пассажиров. Циркуляция воздуха по внутренним воздуховодам с контролируемой температурой внутри сиденья обеспечивает комфорт каждого пассажира. Такой вид климат-контроля внутри автомобиля не требует установки мощного кондиционера, поэтому данная технология является энергосберегающей.

Перспективны термоэлектрические сборки и при создании отказоустойчивых, неприхотливых к изменениям напряжения питания кондиционеров для бронетехники, кабин тракторов, грузовой техники и купе железнодорожных вагонов (рис. 16).

При производстве полупроводниковых микросхем для обеспечения высокой точности нанесения топологии необходимо тщательно контролировать температуру подложки. Решение этой задачи также остро необходимо при разработке мощных лазеров и других электронных устройств. Во многих случаях для этого применяются так называемые «чилеры» (chiller) — устройства, имеющие в своем составе контур с жидкостью, температура которой с высокой точностью контролируется ТЭС типа «жидкость-жидкость» (рис. 17).

Применение ТЭС типа «холодная поверхность – воздух» позволяет создать уникальные по миниатюрности витрины для различных магазинов и выставок, что невозможно с помощью компрессорных агрегатов. Такие витрины используются в небольших барах, буфетах и кафе.

В таблице 3 приведены примеры областей применения и задач, решаемых с помощью ТЭС различных типов.

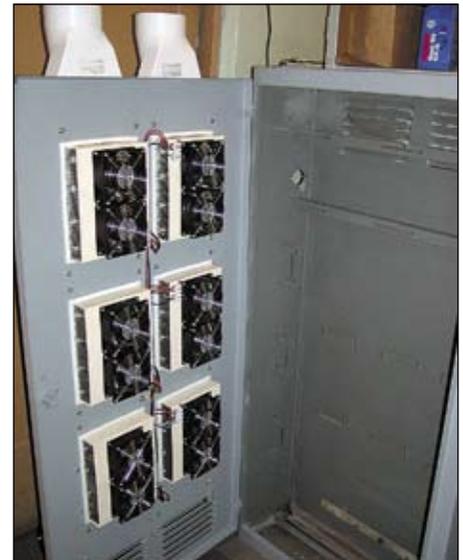


Рис. 15. Шкаф с локальным кондиционированием сборками типа «воздух-воздух»



Рис. 16. Прототип ТЭС «воздух-воздух» в виде кондиционера



Рис. 17. Сборка типа «жидкость-жидкость» в составе чилера

### Особенности установки стандартных ТЭС типа «воздух-воздух» на объекте

Для правильной установки ТЭС типа «воздух-воздух» на объекте должно быть предусмотрено прямоугольное отверстие, в котором размещается сборка. Крепление

Таблица 3. Примеры областей применения и задач, решаемых с помощью ТЭС

Холодильная мощность, Вт	Область применения	Назначение	Тип ТЭС	$\Delta T_{\text{max}}$ , °C
40–600	П, М	Технологические изотермические ванны	LL, SA, SL	40
10	И	Определитель свойств нефтепродуктов	SL	109
40–600	П	Ванны для химического осаждения	SA, SL	40
40–600	П	Температурный контроль циркуляторов жидкости	LL	40
10	П	Климатические камеры	AA, SA	80
400–600	П, Н	Охладители/нагреватели оборотной воды	LL	40
400–10 000	П	Охладители для производства микросхем	LL	30
1000	М	Теплообменник для сложных хирургических операций	LL	30
2000	П	Кондиционеры для помещений электронного производства	AA	25
2000	П	Кондиционеры для ж/д вагонов	AA	25
100–1000	П	Термостатирование шкафов и отсеков телекоммуникационного оборудования	AA, SA	15
100–250	П, Н	Устройства для быстрой полимеризации	SA, SL	40
40–400	П, М, Н	Термостатируемое лабораторное оборудование	SA, SL, AA, LL	25
40–200	П, И, Н	Термостатирование ответственных узлов, работающих на открытом воздухе	SA, AA	15
40–90	Б	Мини-холодильники, мини-бары, мини-витрины, шкафы для хранения вина	AA	20

**Примечание.**

Обозначения применений: П — промышленное; М — медицинское; Н — научное; И — измерительное; Б — бытовое.

сборки осуществляется болтами через отверстия соответствующего диаметра. Чертеж установочного отверстия с отверстиями для крепления прилагается к каждой сборке и доступен на сайте компании «КРИОТЕРМ». При креплении на объекте необходимо применять пружинные шайбы (Гровера). На тонкостенном объекте рекомендуется дополнительно применять стальную рамку толщиной ~3 мм, изготовленную по размерам фланца изделия и устанавливаемую на внутренней стороне стенки термостатируемого объекта. Радиатор «холодной» стороны для всех типовборок «воздух-воздух» всегда меньше горячей.

### Управление термоэлектрическими сборками

В ряде случаев, когда термостабилизируются узлы и оборудование работают в стационарном режиме и условия эксплуатации

(температура окружающей среды, влажность, солнечная радиация) не меняются, может быть выбран стационарный режим включения. Однако следует отметить, что этот режим наименее экономичен с точки зрения энергозатрат.

При выборе режима работы необходимо принимать во внимание, что рабочий ток после выхода ТЭС в стационарный режим уменьшается. Особенно сильно (до 10–15%) это проявляется при работе ТЭС в режиме создания максимального перепада температур при минимальной тепловой нагрузке.

Наиболее высокую точность поддержания температуры объекта наряду с наилучшей энергетической эффективностью обеспечивают контроллеры с пропорциональным управлением, использующие различные алгоритмы управления выходным напряжением. Для управления самим контроллером применяются различные датчики температуры, обеспечивающие обратную связь от объекта

к контроллеру. Как правило, это полупроводниковые датчики, имеющие в заданном диапазоне близкую к линейной зависимость сопротивления от температуры.

В зависимости от решаемых задач и требований к инерционности системы датчики могут быть установлены на объекте, на радиаторе или непосредственно внутри термоэлектрического модуля.

Компания «КРИОТЕРМ» представляет линейку регуляторов температур, предназначенных для совместной работы с термоэлектрическими модулями и сборками на их основе. Широкий диапазон выбора напряжения питания и тока позволяет использовать их для управления охлаждением и нагревом для большинства типов термоэлектрических модулей иборок, выпускаемых компаниями.

### Регулятор температуры RT103

Регулятор температуры предназначен для управления питанием термоэлектрических модулей иборок с целью поддержания заданной температуры в замкнутом объеме (рис. 18).

Режим управления: двухпозиционное регулирование. Регулятор работает совместно с цифровым датчиком температуры DS18B20, подключаемым по 2- или 3-проводной схеме.

Технические характеристики:

- Напряжение коммутации — 12–24 В.
- Максимальный коммутируемый ток — 24 А.
- Работа в режимах «нагрев» и «охлаждение».
- Диапазон измерения температуры —  $-55...+125$  °C.
- Точность измерения в диапазоне температур — от  $-10$  до  $+85$  °C с шагом 0,5 °C.
- Диапазон установки температур — от  $-55$  до  $+99$  °C с шагом 1 °C.
- Установка гистерезиса в диапазоне от 0,2 до 9,9 °C с шагом 0,1 °C.
- Габаритные размеры регулятора —  $90 \times 45 \times 18$  мм.

### Реверсивный коммутатор KP101

Коммутатор предназначен для управления питанием термоэлектрических модулей иборок, работающих в режиме нагрева или охлаждения (рис. 19). Полярность выходного питания задается полярностью управляющего сигнала. Управление коммутатором осуществляется при помощи регулятора температуры RT103 (рис. 20) либо другим источником управления.

Технические характеристики:

- Напряжение коммутации — 12–40 В.
- Максимальный коммутируемый ток — 25 А.
- Реверсивная подача питания.
- Тип управляющего сигнала — 5 В постоянного тока.
- Гальваническая развязка по входу управления.
- Габаритные размеры регулятора —  $90 \times 60 \times 18$  мм.

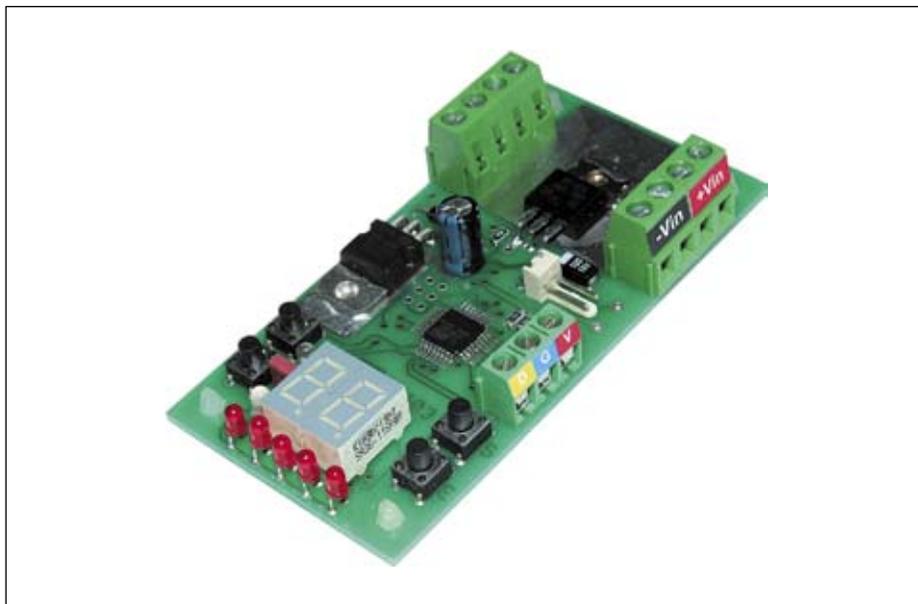


Рис. 18. Внешний вид регулятора температуры RT103

**Регуляторы температуры  
РТ104 и РТ104-02**

Регулятор температуры предназначен для контроля и управления питанием термоэлектрических сборок с целью создания автоматических систем охлаждения-нагрева.

Основные функции регулятора:

- Измерение температуры в рабочем объеме объекта.
- Отображение на встроенном ЖК-индикаторе результатов измерений, текущих значений параметров регулятора и состояния работы.
- Изменение значений параметров и управление работой регулятора с помощью кнопок, расположенных на лицевой панели.
- Регулирование измеряемой температуры по 2-позиционному или ПИД-закону.
- Автонастройка ПИД-регулятора.
- Индикация аварийных сигналов в случае неисправности датчиков и перегрева охладителей.
- Сохранение параметров регулятора в энергонезависимой памяти при отключении напряжения питания.
- Передача текущих значений и параметров по интерфейсу USB.
- Программирование регулятора с помощью компьютера.

Технические характеристики:

- Напряжение питания — от 180 до 264 В переменного тока, 50 Гц.
- Потребляемая мощность — не более 350 В·А.
- Датчик температуры DS18B20 с диапазоном измерений от -55 до +125 °С и точностью измерений 0,5 °С в диапазоне от -10 до +85 °С.
- Выходное напряжение — от 0 до 12 В.
- Максимальный выходной ток — 25 А для РТ104-02 и 14,5 А для РТ104.

Функции регулирования:

- Законы регулирования: 2-позиционное регулирование и регулирование П, ПИ, ПД и ПИД.

- Режимы работ: «охлаждение», «нагрев».

Дополнительные функции:

- функция автоматической настройки коэффициентов ПИД-регулирования;
- ограничение максимальной мощности в режимах «нагрев»/«охлаждение» — от 0 до 100%;
- установка скорости изменения температуры — от 1 до 3600 °С/ч.



Рис. 19. Внешний вид реверсивного коммутатора KP101



Рис. 20. Внешний вид регулятора температуры РТ103, установленного на реверсивный коммутатор KP101

Аварийная сигнализация:

- неисправность датчиков температуры;
  - перегрев охладителей.
- Интерфейс связи:
- Тип интерфейса: USB.
  - Особенность: изолированный.
  - Протокол обмена: Modbus-RTU.

Вариант конструктивного исполнения регулятора РТ104 представлен на рис. 21. Он имеет металлический корпус с габаритными размерами 310×240×190 мм. Масса регулятора — не более 3 кг.

Регулятор РТ104-02 (рис. 22) имеет металлический корпус для установки в 19" стой-



Рис. 21. Внешний вид регулятора температуры РТ104



Рис. 22. Внешний вид регулятора температуры РТ104-02 в 19-дюймовом исполнении

ку с габаритными размерами 88×437×360 мм. Масса регулятора — не более 6 кг.

### Заключение

Многолетний успешный опыт взаимодействия компании «КРИОТЕРМ» со многими российскими, европейскими, североамериканскими и азиатскими партнерами, работающими в области разработок и производства аппаратуры и приборов с применением высоких технологий, позволяет предложить отечественным разработчикам современные термоэлектрические решения охлаждения и стабилизации температуры для новейших потребностей рынка. Такой подход гарантирует заказчикам получение передовых решений, отвечающих современным требованиям, предъявляемым к промышленной, медицинской и другим видам аппаратуры. ■

### Литература

1. Иоффе А. Ф., Сильбанс Л. С., Иорданишвили Е. К., Ставицкая Т. С. Термоэлектрическое охлаждение. АН СССР, 1956.
2. Каганов М. А., Привин М. Р. Термоэлектрические насосы. Л.: Энергия, 1970.
3. Булат Л. П., Ведерников М. В., Вялов А. П. и др. Термоэлектрическое охлаждение. СПб.: СПбГУНиПТ, 2002.
4. Тахистов Ф. Ю. Расчет параметров термоэлектрических модулей с учетом температурных зависимостей термоэлектрических свойств // Термоэлектрики и их применения. Доклады VIII Межгосударственного семинара. Ноябрь 2002 г. СПб.: ФТИ, 2002.
5. Баукин В. Е., Вялов А. П., Гершберг И. А., Муранов Г. К., Соколов О. Г., Тахистов Ф. Ю. Оптимизация термоэлектрических генераторов большой мощности // Термоэлектрики и их применения. Доклады VIII Межгосударственного семинара. Ноябрь 2002 г. СПб.: ФТИ, 2002.
6. Гершберг И. А., Тахистов Ф. Ю. Выбор оптимального ТЭМ в зависимости от условий внешнего теплообмена // Термоэлектрики и их применения. Доклады IX Межгосударственного семинара. Ноябрь 2004 г. СПб.: ФТИ, 2004.
7. Кузнецов Е. П., Соловей А. С., Тахистов Ф. Ю., Вялов Д. А., Гершберг И. А. Термостат биотехнологический универсальный для российского сегмента международной космической станции // Термоэлектрики и их применения. Доклады IX Межгосударственного семинара. Ноябрь 2004 г. СПб.: ФТИ, 2004.
8. Шостаковский П. Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. 2009. № 12. 2010. № 1.
9. Шостаковский П. Г. Разработка термоэлектрических систем охлаждения и термостатирования с помощью компьютерной программы KRYOTHERM // Компоненты и технологии. 2010. № 8–9.