

# АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

ПЕТР ШОСТАКОВСКИЙ  
info@kryotherm.ru

Разнообразие областей использования систем автоматизации и телеметрии растет с появлением новых технологий и новых направлений их применения. Все системы требуют надежных источников питания, причем год от года потребляемая мощность для аналоговых систем снижается, а требования к надежности возрастают. Прокладка кабеля питания по своей стоимости во много раз может превосходить стоимость самого устройства автоматики или телеметрии, а в некоторых случаях подвести кабель питания не представляется технически возможным. При этом сбрасываемая в окружающую среду тепловая мощность на промышленных объектах может составлять мегаватты. Применение термоэлектрического преобразования теплового потока в электрическую энергию для многих случаев становится незаменимым.

К неоспоримым достоинствам термоэлектрического прямого преобразования тепловой энергии в электрическую следует отнести отсутствие промежуточного звена, как, например, в работе тепловой или атомной электростанции, где тепловая энергия преобразуется в механическую, а затем механическая энергия преобразуется в электрическую. Также термоэлектрические генераторы (ТЭГ) обладают такими уникальными качествами, как полная автономность, высокая надежность, простота эксплуатации, бесшумность и долговечность.

Среди преимуществ, определяющих при выборе среди прочих приоритет термоэлектрического преобразования, во многих приложениях — это отсутствие движущихся частей и, как одно

из следствий, отсутствие вибраций, а также необходимости применения жидкостей и/или газов под высоким давлением. (Преобразование происходит в самом термоэлектрическом веществе.) Работоспособность не зависит от пространственного положения и наличия гравитации. ТЭГ можно применять при больших и малых перепадах температур. Последнее становится наиболее актуальным, если учесть, что до 90% сбрасываемой (отводимой) тепловой энергии на промышленных объектах и оборудовании выделяется при температуре поверхностей до +300 °С.

Термоэлектрическое преобразование универсально, оно допускает использование практически любых источников теплового потока, в том

числе при малых перепадах температур, при которых применение иных способов преобразования невозможно в принципе.

Сферы применений ТЭГ крайне разнообразны: от энергообеспечения космических аппаратов, находящихся на удаленных от Солнца орбитах, питания оборудования газо- и нефтепроводов, морских навигационных систем до бытовых генераторных устройств, например в составе дровяной топочно-варочной печи, камина и котла.

Приведем несколько примеров практического применения ТЭГ:

- использование отводимого от двигателей (автомобильных, корабельных и др.) тепла;
- автономные источники питания электроэнергии для обеспечения работоспособности котельных,

установок по переработке отходов и др.;

- источники питания для катодной защиты нефте- и газопроводов;
- автономное обеспечение энергией электронных блоков и насосов водяных котлов и мусоросжигательных установок;
- преобразование тепла природных источников (например, геотермальных вод) в электрическую энергию;
- обеспечение питанием различных устройств телеметрии и автоматики на объектах, удаленных от линий электропередачи;
- обеспечение автономным питанием маломощных электронных устройств (беспроводные датчики) за счет накапливаемой энергии (Energy Harvesting), собираемой при наличии минимальных перепадов температур (менее 10 °С);
- получение электрической энергии на солнечных концентраторах за счет разности температур горячего и охлажденного теплоносителя в контуре.

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

В качестве источника тепла для современных промышленных ТЭГ чаще всего применяют тепловую энергию, выделяемую при сжигании природного газа. Также используется тепловая энергия, отводимая от двигателей внутреннего сгорания, тепловая энергия пара, другие доступные источники тепла на промышленных объектах. Выходная мощность генераторов определяется типом и числом термоэлектрических модулей, входящих в состав генератора, а также конструкцией радиаторов. Линейка выпускаемых компанией «Криотерм» ТЭГ промышленного назначения обеспечивает возможность получения электрической мощности от 2 до 200 Вт от одного генератора. Следует отметить, что производитель указывает выходную мощность для наилучших условий эксплуатации и статистически можно ожидать результаты, превосходящие гарантированные в полтора раза и более.

При выполнении условий согласования можно суммировать вырабатываемую мощность от нескольких генераторов.

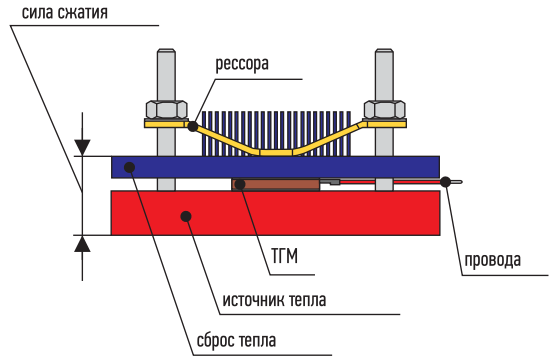
В упрощенном виде термоэлектрический генератор можно представить в виде металлической теплораспределительной пластины со стороны источника тепла, термоэлектрического генераторного модуля (ТГМ) и охлаждающего радиатора, отводящего тепло, проходящее через модуль в окружающую среду и создающего необходимый для работы ТГМ перепад температур (рис. 1). Вся конструкция должна сжиматься с усилием, обеспечивающим надежную передачу тепла от источника в окружающую среду с одной стороны и не допускающей превышения допустимого усилия при тепловом расширении конструкции.

На рисунке видно, что сжатие обеспечивается с помощью резьбовых соединений и рессорной пружины. Пружины могут быть также иной конструкции, например витой или дисковой. Целью конструкции является обеспечение равномерности усилия сжатия в заданном интервале температур. Благодаря своей простоте базовая конструкция обладает высокой надежностью и долговечностью (срок службы может превышать 10 лет).

**ПРИМЕРЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

**Универсальный термоэлектрический генератор Б4-М**

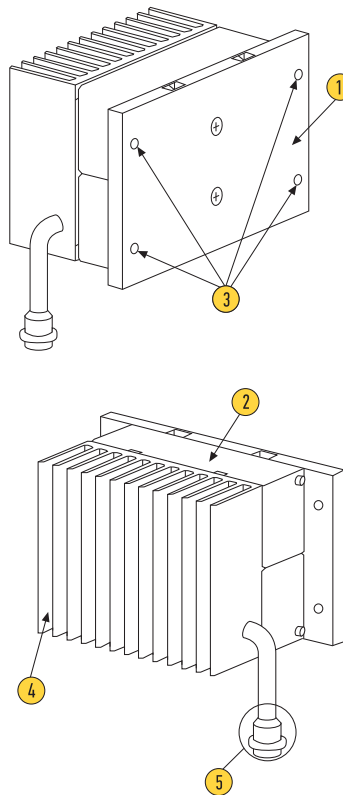
Универсальный генератор Б4-М позволяет получать напряжение питания 12 В при установке на вертикальные горячие поверхности с температурой +250 °С и обеспечивающие мощность теплового потока через генератор 300 Вт. Генератор обеспечивает непрерывную круглосуточную работу без постоянного наблюдения за его функционированием. Степень защиты ТЭГ Б4-М от прикосновения к токоведущим частям, попадания твердых посторонних тел и жидкости — IP35 по ГОСТ 14254-96. Генератор предназначен для работы в помещении



**РИС. 1. ▲** Базовая конструкция термоэлектрического генератора

и на открытом воздухе при любой погоде. Генератор снабжен бронерукавом, служащим защитой проводов выходного напряжения от механических повреждений и перегрева (рис. 2). На бронерукаве также установлен разъем выходного напряжения.

В реальных условиях эксплуатации в силу ряда факторов достаточно сложно обеспечить постоянную температуру источника тепла. В этой связи для защиты от перегрева и повышения надежности генератор имеет встроенную тепловую защиту, предотвращающую выход из строя



**РИС. 2. ◀** Внешний вид и состав ТЭГ Б4-М (1 — рабочая поверхность; 2 — гайка; 3 — отверстия для крепежа; 4 — ребра радиатора; 5 — разъем подключения переходного устройства)

генератора при нагреве установочной поверхности до +300 °С. Основные технические характеристики ТЭГ Б4-М приведены в таблице 1.

В процессе проектирования систем с применением термоэлектрических генераторов возникает вопрос: какими будут выходные параметры генератора при температурах ниже номинальной? На рис. 3 приведена зависимость выходной мощности генератора Б4-М на согласованной нагрузке от температуры источника тепла. На графике видна область срабатывания тепловой защиты после роста температуры источника тепла свыше +260 °С, при котором происходит уменьшение теплового потока через термоэлектрический модуль и, как следствие, снижение вырабатываемой электрической мощности. Испытания производились при комнатной температуре, в условиях естественной конвекции. Для нормальной работы ТЭГ Б4-М необходимо охлаждение радиатора, поэтому важно обеспечить свободное прохождение воздуха вдоль его ребер. Эксплуатация генератора на открытом воздухе, как правило, дает лучшие результаты за счет присутствия дополнительного естественного обдува радиатора, при этом защищать генератор от дождя и снега необходимости нет, так как попадание влаги на радиатор дополнительно охлаждает его и, соответственно, увеличивает вырабатываемую мощность устройства. Для питания электронных устройств рекомендуется применять соответствующий стабилизатор напряжения.

### Термоэлектрический генератор ТЭГ-5

Модернизация инфраструктуры промышленных предприятий

**ТАБЛИЦА 1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЭГ Б4-М**

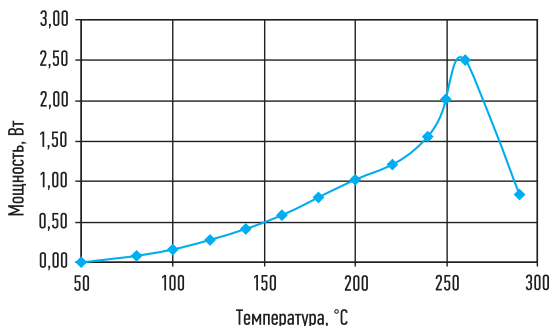
Наименование параметра	Значение
Длина, мм	162
Ширина, мм	100
Высота, мм	95
Вес, кг	2±5%
Номинальное выходное напряжение, В*	12±20%
Номинальная выходная мощность, Вт*	2,0
Внутреннее сопротивление, Ом	72±10%
Режим работы источника тепла	Стационарный
Номинальная температура, °С, не более	250±10%
Климатические условия эксплуатации	Диапазон температур -40...+85 °С Влажность 30–100%
Климатические условия хранения	Диапазон температур -55...+50 °С Влажность до 95%
Время выхода на номинальный режим	20±5 мин

Примечание: \* — на согласованной нагрузке.

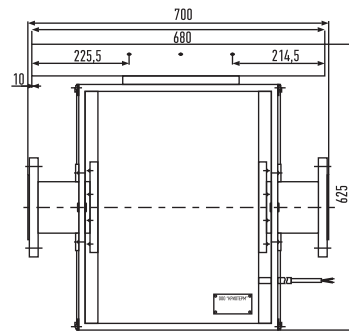
**ТАБЛИЦА 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЭГ-5**

Наименование параметра	Значение
Генерируемое напряжение, В	24
Выходная мощность, Вт, не менее	5
Температура пара в месте установки ТЭГ-5, °С	+119...+190
Длина теплоприемника ТЭГ-5, мм	700
Масса, кг, не более	63
Диапазон рабочих температур, °С	-50...+40 °С
Длина выходного кабеля в бронерукаве, не менее, мм	1000
Внешний диаметр трубопровода, мм	108
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP65

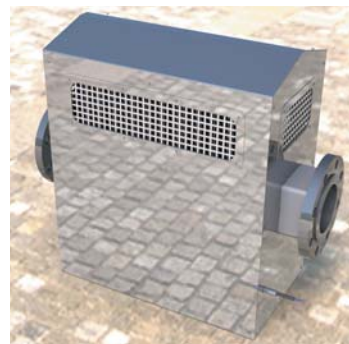
и внедрение современных систем энергоучета зачастую ограничены отсутствием электрического питания в местах установки различных приборов телеметрии и передачи данных. При этом во многих случаях в наличии есть паропровод. Для получения источника электрической энергии от тепловой энергии пара служит термоэлектрический генератор ТЭГ-5 (рис. 4), устанавливаемый на паропроводах промышленных объектов и имеющий



**РИС. 3.** Типовые результаты испытаний генератора Б4-М



**РИС. 4.** Генератор ТЭГ-5: а) габаритные размеры; б) внешний вид



выходную мощность 5 Вт, гарантированную производителем для самых неблагоприятных сочетаний условий эксплуатации. Основные технические характеристики приведены в таблице 2.

**Термоэлектрический генератор на газовом топливе ТЭГ-15**

Термоэлектрический генератор на газовом топливе ТЭГ-15 (рис. 5) предназначен для получения электрической энергии для питания аппаратуры учета расхода газа путем преобразования тепловой энергии сжигания газового топлива в электрическую. Генератор успешно эксплуатируется на газораспределительных пунктах и обеспечивает автономное питание систем сбора и передачи информации, независимое от внешних источников электрической энергии.

Применение термоэлектрических генераторов на газовом топливе позволяет снизить затраты, исключив необходимость подключения к линиям электропитания пунктов размещения измерительной и передающей аппаратуры. Генераторы снабжены аккумуляторными батареями и устройством контроля заряда и работы устройства. Как указано в таблице 3, номинальная мощность генератора составляет 15 Вт. Этой мощности достаточно для питания современных электронных приборов учета расхода и параметров газа. В случае необходимости получения большей мощности или резервирования генераторы могут каскадироваться.

**Термоэлектрический генератор ГТГ-200**

ГТГ-200 (рис. 6) является автономным источником электроэнергии, работающим на природном газе, пропане или пропан-бутановой смеси. Применяется для комплектации автономных источников питания (АИП) мощностью 200–2000 Вт.

Высокая вырабатываемая генератором мощность определяется применением в нем среднетемпературных термоэлектрических генераторных модулей серии Mars, обеспечивающих выходную мощность до 45 Вт (базовый вариант 40 Вт) и предназначенных для приме-

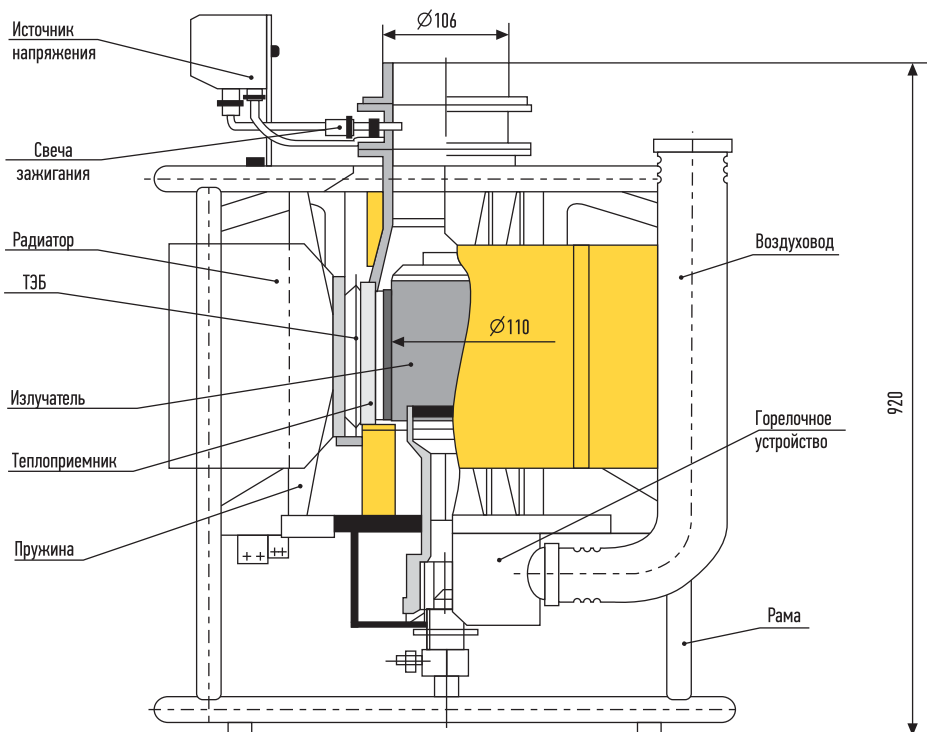


**РИС. 5. ▲**  
Термоэлектрический генератор ТЭГ-15 на газораспределительных пунктах

**ТАБЛИЦА 3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЭГ-15**

Наименование параметра	Значение
Длина, мм, не более	300
Ширина, мм, не более	600
Высота без газоотводной системы, мм, не более	600
Высота полная, мм, не более (с газоотводной системой)	3300
Выходное напряжение, В	12/24
Выходная мощность, Вт	15
Режим работы	Стационарный
Топливо	Природный газ
Расход топлива, м <sup>3</sup> /ч	0,16–0,25
Количество и параметры аккумуляторных батарей	2 шт., 12 В, 63 А·ч

**РИС. 6. ▼**  
Устройство термоэлектрического генератора ГТГ-200



**ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНОГО ГЕНЕРАТОРНОГО МОДУЛЯ СЕРИИ MARS**

Размеры габаритные, мм	Размеры установочные, мм	Тхол.стороны = +130 °С, Тгор.стороны = +530 °С					Вес, кг
		$I_{нагр}, A$	$U_{нагр}, B$	$R_i^*, Ом$	Мощность, Вт	КПД, %	
260×92×30	171×68×12,5	6,7	4,8	0,72	40	6,0	0,855

**Примечание:**  $R_i^*$  — внутреннее сопротивление модуля при  $R_i = R_L$ , где  $R_L$  — электрическое сопротивление нагрузки

нения совместно с источником тепла с температурой +530 °С и мощностью теплового потока 650 Вт. Основные параметры этого генераторного модуля приведены в таблице 4, внешний вид на рис. 7, нагрузочная характеристика на рис. 8.

Гарантийный срок эксплуатации генераторного модуля серии Mars составляет 10 лет.

Генераторы термоэлектрические ГТГ-200 применяются в качестве необслуживаемых автономных источников электроэнергии постоянного тока и тепла в составе независимых автономных источников энергопитания для станций катодной защиты газопроводов от коррозии, питания изолированных от стационарного электропитания узлов учета, питания средств автоматики, телемеханики и технологической связи магистральных газопроводов. Генераторы работают на природном или сжиженном газе. Для управления работой термоэлектрического генератора ГТГ-200 в составе автономного источника питания применяется блок стабилизации напряжения и управления, предназначенный для:

- стабилизации и ограничения зарядного напряжения аккумуляторных батарей;
- включения и отключения электромагнитного клапана подачи газа в генератор;
- подачи напряжения на высоковольтный блок для электроискрового «поджига» газовой горелки генератора;
- контроля вырабатываемой генератором мощности;
- обеспечения параллельной работы нескольких генераторов.

Условия эксплуатации генератора ГТГ-200:

- климатическое исполнение О;
- категория размещения 2 по ГОСТ 15150-69;
- температура окружающего воздуха –50...+50 °С;

- относительная влажность воздуха до 98%.

Основные параметры прибора приведены в таблице 5, а внешний вид с воздухопроводом и газоотводящей трубой — на рис. 9.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные термоэлектрические генераторы промышленного назначения были разработаны для решения задач альтернативного электрического питания различных приборов и устройств. В процессе разработки и испытаний на объектах были учтены особенности эксплуатации, пожелания заказчиков. Применение современных узлов и компонентов,



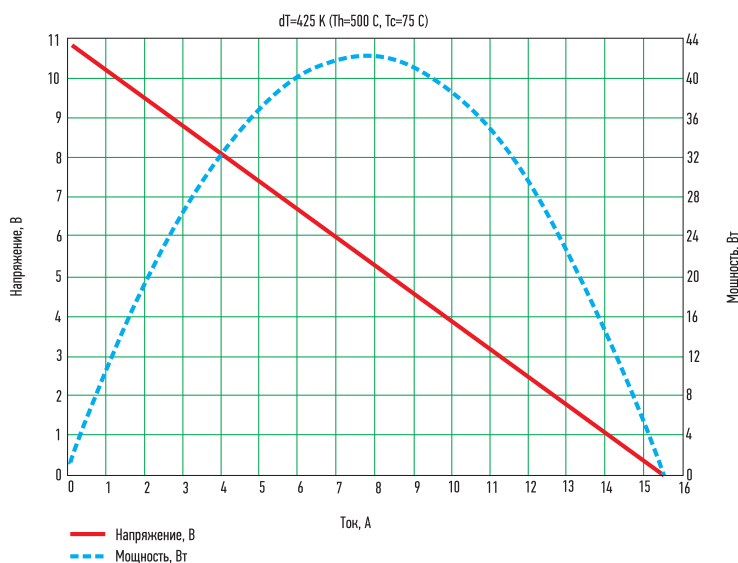
**РИС. 7. ▲** Среднетемпературный генераторный модуль серии Mars

в первую очередь высокоэффективных термоэлектрических генераторных модулей компании «Криотерм», позволило обеспечить высокую надежность серийно выпускаемых термоэлектрических генераторов промышленного применения. ●

**ТАБЛИЦА 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГТГ-200**

Параметр	Значение	
Электрическая мощность при напряжении (29±1) В, Вт	200	
Время выхода на номинальный режим, ч	1	
Срок службы, лет, не менее	10	
Автономность при круглосуточной непрерывной работе, лет, не менее	1	
Габаритные размеры (без газоотводной системы), мм	диаметр	600
	высота	920
Масса, кг	130	

**РИС. 8. ▲** Типовая вольт-амперная характеристика генераторного модуля Mars



**РИС. 9. ▼** Внешний вид генератора ГТГ-200

