

Термоэлектрические генераторы промышленного применения

Часть 2

Пётр Шостаковский (Санкт-Петербург)

В первой части статьи были рассмотрены базовые термоэлектрические эффекты, а также термоэлектрические генераторные модули (ТГМ) – их выбор, особенности установки и результаты испытаний.

Во второй части приведены примеры серийно выпускаемых отечественных ТЭГ и автономных источников питания на их основе.

Накопление энергии

Следует также обсудить применение ТГМ в качестве источника для накопления электрической энергии от преобразования слабых тепловых потоков, нередко меняющих своё направление. Как видно из рисунка 8, при перепаде температур в 5°C возможно получение источника питания с напряжением несколько десятков милливольт и мощностью на согласованной нагрузке несколько милливатт. Даже такая небольшая электрическая мощность позволяет запускать современные DC/DC-преобразователи, начинающие устойчиво работать при напряжении 20 мВ и повышающие его до значения, приемлемого для зарядки ионисторов и аккумуляторов небольшой ёмкости.

Как видно из результатов испытаний, приведённых на рисунке 8, генераторный модуль ТГМ-199-1,4-1,5 обеспечивает выходное напряжение порядка 400 мВ и выходную мощность около 45 мВт при наличии минимальной разности температур 10°C. Из графика также видно, что необходимое для устойчивой работы современных

микросхем DC/DC-преобразователей напряжение 20...30 мВ будет обеспечено при разности температур на столах модуля 2...3°C.

Испытания проводились при изменении температуры горячей стороны от 35°C до 50°C с шагом 5°C при фиксированном значении температуры холодной стороны модуля 25°C. Следует ожидать повышение выходного напряжения в случае применения генераторных модулей серии ТГМ-287, имеющих большее число термопар и, как следствие, пропорционально большее значение термоЭДС.

Вопросы экономики

В местах, удалённых от магистральных линий электропередач (ЛЭП), построение систем электропитания объекта часто превосходит цену самого объекта. При этом надёжность такого питания невысока и требует резервирования. Затраты на эксплуатацию ЛЭП также заставляют инженеров искать альтернативу. Во многих случаях ею становится солнечная энергетика, однако у неё есть ограничения, обусловленные географическим местопо-

ложением, сменой времён года и тому подобное.

В промышленных объектах с потребляемой мощностью до 5 кВт всё чаще применяются автономные источники питания (АИП) на основе ТЭГ. Единственным условием применения таких генераторов является наличие источника тепла. Им может быть геотермальное тепло, тепло от сжигания газа, угля, дров или тепло, отводимое от машин и механизмов в окружающую среду. Ключевым показателем для любой коммерческой модели являются затраты на единицу продукции, а в данном случае – вырабатываемой мощности. Для низкотемпературных генераторных модулей с размерами 40 × 40 мм вырабатываемая мощность может превышать 10 Вт. При этом цена такого модуля для массовых применений на мировом рынке условно составляет \$10. Таким образом, стоимость 1 Вт электрической энергии можно принять равной \$1.

Любой источник электрической энергии не может работать без вспомогательного оборудования, которое обеспечивает его надёжную и эффективную работу. В случае ТЭГ им является система подачи теплового потока и радиаторы, обеспечивающие отвод тепла в окружающую среду. В зависимости от требований надёжности и минимизации обслуживания, стоимость вспомогательного оборудования может в 2–10 раз превосходить стоимость ТГМ в единице мощности. К промышленным ТЭГ применяется коэффициент 3–4. Но, в отличие от генераторов с другим видом преобразования энергии, здесь нет вращающихся и изнашивающихся частей, требующих затрат на ремонт. Как правило, обслуживание ТЭГ заключается в очистке от гари и пыли деталей и узлов генератора.

В приведённой оценке учтены не все затраты. Например, ничего не сказано о стоимости топлива. Но даже в системе автономного электропитания автоматического отопительного котла эти затраты составляют несколько процентов (фактическая эффективность термоэлектрического генератора) от стои-

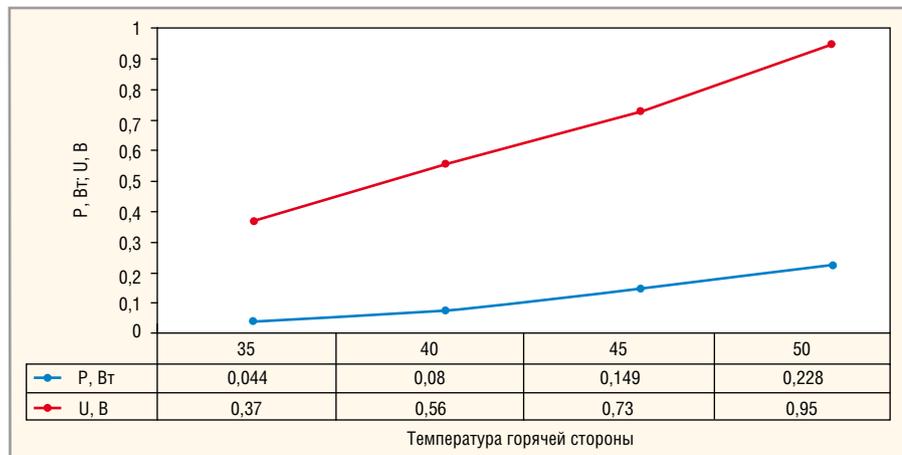


Рис. 8. Результаты испытаний ТГМ на малых перепадах температуры при $T_c = 25^\circ\text{C}$

мости использованного топлива (всё остальное тепло идёт на нагрев теплоносителя). В случае применения ТЭГ на удалённых объектах газо- и нефтепроводов затраты на топливо несравнимо меньше технологических потерь.

Следует отметить, что всё чаще внимание инженеров привлекают источники вторичного тепла, отводимого от промышленных объектов, например, химической и нефтеперерабатывающей отрасли. По оценкам германских специалистов непроизводительный сброс тепловой энергии в ФРГ превышает 500 ПДж (1 ПДж = 1×10^{15} Дж, в сумме 278 млн кВт). По оценкам японских специалистов до 90% отводимого от промышленных объектов тепла имеет температуру до 250°C, что идеально подходит для термоэлектрического преобразования.

ПРИМЕРЫ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЭГ

Термоэлектричество более 70 лет применяется в различных областях жизни человека. Первоначальное распространение оно получило в приборах для точного измерения температуры, но начало практического применения термоэлектричества было положено академиком А.Ф. Иоффе, под руководством которого был освоен в производстве термоэлектрический генератор «партизанский котелок», с успехом заменивший гальванические батареи, имевшие в то время малый срок службы. Простая конструкция обеспечивала радиостанции несколькими ваттами электрической энергии, вырабатывавшейся за счёт разности температур между кипящей водой и пламенем костра. Позже, в начале 1950-х гг. термоэлектрическим генератором комплектовался ламповый радиоприёмник «Родина» (см. рис. 9).

Сегодня термоэлектрические генераторы служат основой автономных источников питания с вырабатываемой мощностью от 2 Вт до 5 кВт. Далее приведены (в порядке возрастания генерируемой мощности) наиболее популярные из них, выпускаемые отечественными предприятиями и нашедшие широкое применение в промышленности и домашнем хозяйстве.

Универсальный генератор Б4-М

Генератор (см. рис. 10) предназначен для установки на любой источник тепла, имеющий температуру до 250°C

и обеспечивающий тепловой поток через генератор не менее 200 Вт. Основные параметры генератора:

- габаритные размеры 162×100×93 мм;
- масса 2 кг;
- выходное напряжение 12 В;
- выходная мощность 2 Вт;
- режим работы стационарный.

При создании данного генератора была решена задача универсальности применения. Работоспособность и эффективность генератора не зависят от пространственного положения. Он прекрасно работает, будучи установленным на мангал, походную печку или промышленный агрегат с соответствующей температурой. В частности, генератор нашёл применение на промышленных объектах для питания систем телеметрии, когда к вращающемуся агрегату, имеющему высокую температуру (например, клинкерной печи), подвести обычную линию питания затруднительно, а аккумуляторы и батареи быстро выходят из строя. Генератор имеет встроенную защиту от перегрева свыше 250°C [7].

Термоэлектрический генератор ТЭГ-5

Специализированный генератор, предназначенный для работы на паропроводах с рабочей температурой до 200°C (см. рис. 11). Основные параметры генератора:

- генерируемое напряжение 24 В;
- выходная мощность не менее 5 Вт;
- температура пара 119...190°C;
- длина теплоприёмника 700 мм;
- масса не более 63 кг;
- рабочий диапазон температур -50...+40°C;
- внешний диаметр трубопровода 108 мм.

Генератор служит автономным источником питания контрольно-измерительных приборов (АИП КИП), аппаратуры беспроводной телеметрии и передачи данных. Номинальная мощность 5 Вт обеспечивается при сочетании неблагоприятных факторов. Генератор имеет антивандальное исполнение, предназначен для эксплуатации в любых погодных условиях и является отличным примером АИП промышленного применения для труднодоступных мест [7].

Термоэлектрический генератор бытового применения В25-12

Термоэлектрический генератор В25-12 (см. рис. 12) был разработан



Рис. 9. Действующая модель генератора на керосиновой лампе [7]



Рис. 10. Универсальный генератор Б4-М

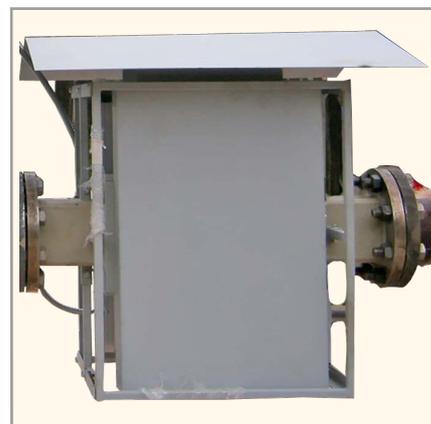


Рис. 11. Термоэлектрический генератор ТЭГ-5, установленный на паропроводе



Рис. 12. Генератор В25-12, предназначенный для установки на печи дровяного отопления



Рис. 13. Походный вариант печи с генератором В25-12 (с правой стороны) в чуме охотника



Рис. 14. Генератор ТЭГ-15 на газораспределительном пункте

и освоен в серийном производстве для установки на печи дровяного отопления и имеет номинальную вырабатываемую мощность 25 Вт. Другие параметры генератора:

- габаритные размеры 252 × 252 × 170 мм;
- вес 8,5 кг;
- выходное напряжение 12 В;
- режим работы стационарный;

Табл. 3. Технические параметры генераторов ТЭГ-15 и ТЭГ-30

Наименование параметра	ТЭГ-15	ТЭГ-30
Габаритные размеры, мм	600 × 600 × 300	
Выходное напряжение, В	12/24	
Выходная мощность, Вт	15	30
Режим работы	Стационарный	
Топливо	Природный газ	

Табл. 4. Технические параметры генераторов ГТЭГ-150 и ГТЭГ-200

Модель генератора	ГТЭГ-150	ГТЭГ-200
Выходная мощность (при напряжении 29 ± 1 В), Вт	150	200
Срок службы, лет не менее	10	
Габаритные размеры, мм	Диаметр 600, высота 1030	
Масса, кг	130	
Режим работы	Стационарный	
Топливо	Природный газ	

- температура установочной поверхности 300°С.

Генератор содержит два встроенных вентилятора, запитанных от ТГМ и обеспечивающих интенсификацию теплового обмена радиаторов и окружающей среды. Потребляемая вентиляторами мощность не учитывается в номинальной мощности генератора. Генератор В25-12 предназначен для эксплуатации внутри помещения.

В настоящее время в магазинах, торгующих печами и каминами, большой популярностью пользуются дровяные печи и камины с установленными на них термоэлектрическими генераторами В25-12. На базе генератора освоен выпуск линейки дровяных печей, объединённых торговой маркой Энергопечь [10]. Два базовых варианта с установкой одного или двух генераторов позволяют обеспечивать потребителя стабилизированным напряжением 12 В с вырабатываемой мощностью 25 или 50 Вт (см. рис. 13). Стабилизация напряжения обеспечивается дополнительным блоком, имеющим выходные клеммы для подключения внешнего аккумулятора. Это позволяет накапливать электрическую энергию и использовать её не только во время протопки печи.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ, РАБОТАЮЩИЕ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ

Прежде чем преступить к описанию термоэлектрических генераторов электрической энергии, работающих на газовом топливе, следует отметить, что данные генераторы предназначены исключительно для применения на промышленных объектах с газовым хозяйством. Они не допускаются к бытовому применению по ряду

причин, связанных с безопасностью, необходимостью обучения персонала и другими.

Генераторы ТЭГ-15 и ТЭГ-30

Предназначены для построения систем учёта и автоматизации на газораспределительных пунктах (см. рис. 14). Характеристики генераторов приведены в таблице 3. Генераторы могут комплектоваться аккумуляторными батареями для обеспечения работоспособности оборудования в случае прекращения подачи газа. Система дистанционного контроля горения позволяет в автоматическом режиме прекращать подачу газового топлива в случае отсутствия пламени. Генератор может быть оснащён дистанционным поджигом горелочного устройства.

Генераторы ТЭГ-150 и ГТЭГ-200

Генератор ТЭГ-150 выпускался НПО «Квант» с 1980-х гг. Он применялся на ответственных объектах предприятий газодобывающей отрасли. В настоящее время данный генератор выпускается предприятием «Экоген Технолоджи» [11]. За счёт применения ТГМ с повышенной эффективностью номинальная мощность генератора увеличена до 200 Вт (см. табл. 4), и он широко применяется для создания АИП мощностью до 2 кВт. Внешний вид генератора ГТЭГ-200 в составе АИП-2000 ООО «Завод Саратовгазавтоматика» представлен на рисунке 15.

В настоящее время разработан и освоен в производстве ТЭГ на газовом топливе, с вырабатываемой мощностью 500 Вт. Такие генераторы позволят создавать компактные автономные источники питания с вырабатываемой мощностью до 5 кВт.

Радиоизотопные ТЭГ

За рамками данной статьи остались термоэлектрические генераторы, работающие от тепла радиоизотопных источников (РИТЭГ). В большинстве случаев такие генераторы применяются для питания специальной аппаратуры длительного автономного функционирования. Ключевым достоинством генераторов является высокая степень автономности – до 10 и более лет. Более подробную информацию о РИТЭГ можно найти в статьях [12] и [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в России выпускается несколько десятков различных

типов термоэлектрических генераторных модулей. Все они были разработаны для различных применений, имеют различную эффективность и стоимость. Благодаря высокой надёжности и простоте установки и обслуживания, ТГМ находят всё более широкое применение в различных областях деятельности человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иоффе А.Ф.* Полупроводниковые термоэлементы. М.–Л. Изд-во АН СССР. 1956–1960.
2. *Иоффе А.Ф., Сильбанс Л.С., Иорданишвили Е.К., Ставицкая Т.С.* Термоэлектрическое охлаждение. М.–Л. Изд. АН СССР. 1956.
3. *Бурштейн А.И.* Физические основы расчёта полупроводниковых термоэлектрических устройств. М. Физматгиз. 1962.
4. *Кораблёв В.А., Тахистов Ф.Ю., Шарков А.В.* Прикладная физика. Термоэлектрические модули и устройства на их основе. Учебное пособие. СПб. СПбГИТМО (ТУ). 2003.
5. *Шостаковский П.Г.* Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники. Компоненты и технологии. 2009. №12.
6. *Шостаковский П.Г.* Разработка термоэлектрических систем охлаждения и термостатирования с помощью компьютерной программы KRYOTHERM. Компоненты и технологии. 2010. №8.
7. www.kryotherm.ru.
8. *Иорданишвили Е.К.* Термоэлектрические источники питания. М. Советское радио. 1968.
9. *Шостаковский П.Г.* Современные термоэлектрические источники питания электронных устройств. Компоненты и технологии. 2015. №1.
10. www.energopech.ru.
11. www.ecogentech.ru.
12. *Баукин В.Е., Шостаковский П.Г.* Автономные источники электроэнергии подводных робототехнических комплексов. Экстремальная робототехника. Труды международной научно-технической конференции. Санкт-Петербург. Издательство «Политехника-сервис». 2014.
13. *Лемминг А.Э., Шостаковский П.Г.* Источники питания беспилотных подводных аппаратов длительного автономного функционирования. Современные методы и средства океанологических исследований. Материалы XIV Международной научно-технической кон-



Рис. 15. ТГЭГ-200 в составе АИП-2000

- ференции «МСОИ-2015» в 2 т. М. 2015. Апрель.
14. *Шостаковский П.Г.* Альтернативные источники электрической энергии промышленного применения на основе термоэлектрических генераторов. Control Engineering Russia. 2013. Июнь. ©