

Микитюк П.Д.

**ПОЧВЕННЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ:  
ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ**

**Введение.** Бурное развитие электроники существенно снизило уровень энергопотребления различных электронных устройств. Он характеризуется величинами от десятков милливатт до нескольких ватт. Такой прогресс в области электроники требует создания соответствующих источников питания. Особенно актуальным этот вопрос становится в случаях, когда необходимо обеспечить электрическим питанием различные автономные системы, рассчитанные на длительный (не менее 10 лет) срок эксплуатации.

Химические источники питания (никель - кадмиевые и металлгидридные аккумуляторы, литиевые батареи) при всей их технологичности, низкой цене, большому числу циклов "заряд-разряд", имеют характерные для них недостатки: необходимость обслуживания при перезарядке, большой саморазряд, ограниченный 2-3 годами ресурс работы, необходимость утилизации после окончания срока эксплуатации [1].

Применение фотоэлектрических батарей также ограничено из-за существенной зависимости их работы от времени суток, метеословий, необходимости регулярного обслуживания. Кроме того, они уязвимы к повреждениям и могут быть несанкционированно демонтированы с места их установки [2].

Еще один вариант решения проблемы по созданию автономных источников питания с большим ресурсом работы, в основном, базируется на использовании термоэлектрических генераторов с изотопными источниками тепла [3]. Но изотопные источники тепла являются радиоактивными и дорогими, что сдерживает их широкое применение. Более того, в настоящее время, из-за экологической опасности, они запрещены к использованию, сняты с производства, а ранее установленные - подлежат изъятию и утилизации.

Одним из альтернативных путей решения задачи по созданию автономного, экологического источника питания с большим ресурсом работы является использование термоэлектрического источника питания, который использует возобновляемую тепловую энергию системы "почва-воздух". Запасы такой тепловой энергии практически не ограничены и максимально приближены к потребителю.

Принципиальное преимущество термоэлектрических преобразователей тепловой энергии заключается в независимости их коэффициента полезного действия и ресурса работы от выходной мощности. Кроме того, они могут работать при малых перепадах температуры, характерных для системы "почва-воздух". Эти обстоятельства позволяют создавать надежные автономные источники питания малых мощностей, соразмерных с мощностями, которые потребляет большое количество современных электронных систем. В конструктивном сочетании с такими системами почвенные термоэлектрические генераторы (ПТЭГ) могут обеспечивать их автономную работу в течение не менее 30-35 лет. Такая уникальная особенность ПТЭГ позволяет создавать новую современную аппаратуру, которая может найти широкое применение в различных отраслях народного хозяйства, науки и техники.

Информация о создании ПТЭГ и перспективных областях их применения и является целью данной работы.

**Почвенные термоэлектрические генераторы.** Исследование возможностей использования тепловой энергии почвы путем ее термоэлектрического преобразования были начаты в СКТБ "Фонон" (г. Черновцы, Украина) еще в 1983 г. и продолжаются в Институте термоэлектричества до настоящего времени.

Уже на начальной стадии исследований системы «почва-воздух» было установлено, что тепловые процессы, происходящие на поверхности почвы, нестабильны. На них влияют многие факторы (метеословия, агротехнические мероприятия и др.). Тепловые процессы в активном слое почвы, за который принято считать [4, 5] слой, в котором происходит преобразование солнечной энергии в другие виды энергии, значительно стабильнее. Поэтому, при создании источников питания с использованием тепла системы "почва-воздух", целесообразно рассматривать процессы взаимного обмена тепла между поверхностным и ниже расположенными слоями почвы, обусловленные разницей их температур. Эти тепловые процессы составляют суть теплообмена в почве. С количественной стороны теплообмен в такой системе характеризуется величинами тепловых потоков в почве и их теплоаккумуляцией в ней. Так как величина последней служит интегральным значением тепловых потоков за определенный промежуток времени, то именно величина теплового потока является определяющей для теплообмена в почве. При прохождении теплового потока в почве возникает вертикальный перепад температуры. Он является первопричиной теплообмена в почве. Знание распределения температуры и теплофизических характеристик почвы поз-

воляють определять все элементы ее теплового режима, необходимые для проектирования ПТЭГ.

В Институте термоэлектричества разработаны физические основы приборов, осуществляющих термоэлектрическое преобразование тепловой энергии почвы [6–7]. Они позволяют осуществлять проектирование ПТЭГ с оптимальными характеристиками для конкретного типа почвы и климатической зоны.

С учетом результатов теоретических и экспериментальных исследований в Институте термоэлектричества сформулированы основные подходы к созданию ПТЭГ и созданы их экспериментальные образцы.

Схематическое изображение ПТЭГ приведено на рис. 1, где 1,6 – теплоприемная и тепло- рассеивающая поверхности, которые могут функционально заменять друг друга в зависимости от направления теплового потока в почве, 2, 4 – теплопроводы, 3 – многоэлементная термобатарея, 5 – теплоизоляция, 6 – водонепроницаемый корпус, 7 – электронный блок. Внешний вид одного из типоминералов ПТЭГ представлен на рис. 2.

При расположении ПТЭГ в почве, в зависимости от соотношения его теплового сопротивления к тепловому сопротивлению, эквивалентного по объему генератора, почвы (так называемый,  $k$  фактор), ПТЭГ может выполнять роль своеобразной термической линзы, собирающей тепловые потоки в почве, рис. 3, или рассеивать тепловые потоки в почве, концентрируя вблизи себя изотермические поверхности, рис. 4.

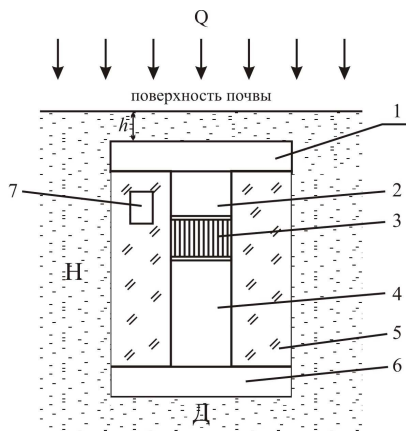


Рисунок 1 – Схематическое изображение ПТЭГ



Рисунок 2 – Внешний вид одного из типоминералов ПТЭГ

Оказывается, что перепад температур на ПТЭГ ведет себя в зависимости от величины параметра  $k$  противоположным образом. Это обуславливает необходимость оптимизации соотношения теплофизических характеристик и геометрии ПТЭГ с учетом характеристик почвы.

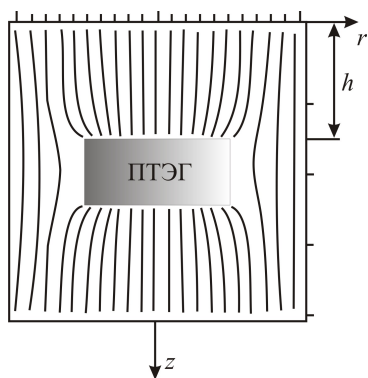


Рисунок 3 – Концентрация теплового потока в ПТЭГ

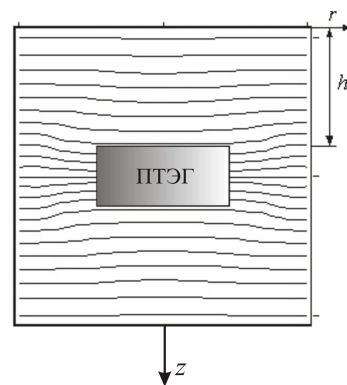


Рисунок 4 – Возмущения однородного температурного поля в виде концентрации изотерм вблизи ПТЭГ

Осуществлять оптимизацию ПТЭГ по его теплофизическим характеристикам и аналогичным характеристикам почвы для достижения экстремальных параметров ПТЭГ позволяет соблюдение соотношения

$$k_{\text{опт}} \approx 1/3 \cdot H/D, \quad (1)$$

где H – высота ПТЭГ, D – его диаметр, а H/D – фактор формы ПТЭГ.

С учетом исследований по созданию ПТЭГ, в Институте термоэлектричества разработан ряд экологически чистых источников питания, рассчитанных на автономную работу с ресурсом до 30–35 лет, которые не имеют аналогов [7]. Характеристики ПТЭГ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики ПТЭГ

№ п/п	Габаритные размеры, мм	Q, мВт	W, мВт	U, В	Ресурс работы, лет
1.	1. 200x200x250	800	20	3, 6, 12	30
	2. Ø150x250	3360	10	3, 6, 12	35
	3. Ø200x250	6000	16	3, 6, 12	35

где Q – усредненный тепловой поток, W – выходная электрическая мощность, U – выходное напряжение.

**Перспективные области применения ПТЭГ.** Широкие возможности применения ПТЭГ, как уже отмечалось выше, обусловлены прежде всего тем, что современные электронные устройства, рассчитанные на длительное время работы, обладают низким уровнем энергопотребления, соизмеримым с мощностями, которые могут производиться ПТЭГ. Еще одним преимуществом перед известными источниками питания является максимальная приближенность ПТЭГ к потребителю, ведь он может быть установлен в почву в любом месте. Полная автономность, экологическая чистота, ресурс работы 30–35 лет существенно расширяют сферу возможных применений ПТЭГ. А такая уникальная особенность, как отсутствие демаскирующих факторов, позволяет эффективно использовать ПТЭГ для элементов охранной сигнализации, датчиков движения, охранных извещателей, систем обнаружения объектов, датчиков охраны периметра и др., потребляющих не более 1 Вт электроэнергии.

Охранные устройства, в основном, работают в режиме ожидания, который для большинства химических источников тока является неэффективным и даже разрушительным, так как приводит к ускоренному и быстрому уменьшению ресурса работы. В то время, как для ПТЭГ, работа в режиме ожидания является выгодной.

Использованием ПТЭГ в качестве источников питания для упомянутых систем и приборов возможности их применений не ограничиваются.

В настоящее время широко применяются микросхемы, осуществляющие обработку сигналов с преобразованием физических величин. С помощью подобных систем создаются различные средства обнаружения и распознавания объектов. В основе средств обнаружения используются сейсмический принцип, суть которого заключается в анализе сейсмических колебаний почвы, вызванных движением. Такие сейсмодатчики отличаются миниатюрностью, малыми уровнями энергопотребления, работой в режиме ожидания. Так сейсмодатчики серии СД и СДГ потребляют всего 0,4 мА при напряжении 5 В. Точечный вибродатчик ВД потребляет всего 0,11 мА при напряжении 5 В. Регистраторы сейсмических сигналов «Байкал–АСМ» питаются от источника постоянного тока с напряжением 12 В при силе тока 25 мА. Приведенные примеры подтверждают возможность применения ПТЭГ для питания упомянутых устройств.

Эффективно применение ПТЭГ для питания сигнальных устройств и трассировки дорог на отдаленных и пустынных участках дорог. С их помощью можно осуществлять постоянный мониторинг за метеоусловиями для метео- и агрономических исследований, которые являются финансово затратными для отдаленных и труднодоступных территорий.

**Выводы.** ПТЭГ являются конкурентоспособными в сравнении с химическими и фотоэлектрическими источниками питания малой (до нескольких Ватт) мощности.

Ресурс работы ПТЭГ на порядок превышает ресурс работы химических источников питания и в 2–3 раза лучше, чем у фотоэлектрических источников.

Уникальные особенности ПТЭГ: высокая надежность, ресурс работы 30–35 лет, максимальная приближенность к потребителю обуславливают широкие возможности их применений.

#### Литература

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства / Л.И. Анатычук. К.: Наукова думка. 1979. – 767 с.

2. Инструкция по эксплуатации “Светильник на солнечной батарее – бра с сенсором”. Модель ELLS-906A-WS, ELLS-906B-WS.
3. Л.И. Анатычук. Термоэлектрические генераторы / Анатычук Л.И., Пустовалов А.А., Струтинская Л.Т. // Термоэлектричество. – 2007. – № 1. – с. 5–28.
4. Чудновский А.Ф. Физика почвы. / А.Ф. Чудновский. М.: Наука. 1967. – с. 12–237.
5. Микитюк П.Д. О термоэлектрическом преобразовании тепловых потоков почвы / Микитюк П.Д. // Термоэлектричество. – 2003. – № 1. – с. 84–89.
6. Анатычук Л.И. Термогенераторы, использующие тепловые процессы в почвах / Анатычук Л.И., Микитюк П.Д. // Термоэлектричество. – 2003. – № 3. – с. 91–100.
7. Микитюк П.Д. Приборы термоэлектрического преобразования энергии почвы. Диссертация кандидата физико-математических наук: 01.04.01.2004.

Bibliography (transliterated)

1. Anatyichuk L.I. Termoelementy i termoelektricheskie ustroystva. L.I. Anatyichuk. K.: Naukova dumka. 1979. – 767 p.
2. Instruksiya po ekspluatatsii “Svetilnik na solnechnoy bataree – bra s sensorom”. Model ELLS-906A-WS, ELLS-906B-WS.
3. L.I. Anatyichuk. Termoelektricheskie generatoryi. Anatyichuk L.I., Pustovalov A.A., Strutinskaya L.T. Termoelektrichestvo. – 2007. – # 1. – p. 5–28.
4. Chudnovskiy A.F. Fizika pochvyi. A.F. Chudnovskiy. M.: Nauka. 1967. – p. 12–237.
5. Mikityuk P.D. O termoelektricheskom preobrazovanii teplovyih potokov pochvyi. Mikityuk P.D. Termoelektrichestvo. – 2003. – # 1. – p. 84–89.
6. Anatyichuk L.I. Termogeneratoryi, ispolzuyuschie teplovyie protsessy v pochvah. Anatyichuk L.I., Mikityuk P.D. Termoelektrichestvo. – 2003. – # 3. – p. 91–100.
7. Mikityuk P.D. Pribory termoelektricheskogo preobrazovaniya energii pochvyi. Dissertatsiya kandidata fiziko-matematicheskikh nauk: 01.04.01.2004.

УДК 621.382

Микитюк П.Д.

**ГРУНТОВІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ГЕНЕРАТОРИ:  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ**

Розглянуто будову, принцип дії та визначено пріоритетні області застосування термоелектричних автономних відновлювальних джерел живлення, що використовують теплову енергію ґрунту. У роботі наведено інформацію про створення в Інституті термоелектрики ґрунтових термоелектричних джерел живлення малої (до 1 Вт) потужності, співрозмірної з величинами потужностей, які споживають сучасні електронні пристрої. Завдяки високій надійності, доступності, ресурсу роботи 30–35 років такі джерела живлення сприяють появі нової сучасної апаратури. Така апаратура не має аналогів і може широко застосовуватись в різних галузях народного господарства, науки і техніки.

УДК 621.382

Муkytyuk P.D.

**SOIL THERMOELECTRIC GENERATORS: CHARACTERISTICS AND APPLICATION**

The construction, operating principle, comparative characteristics and priority fields of application of thermoelectric autonomous renewable energy sources utilizing the thermal energy of soils have been considered. As it is shown in the paper, the soil thermoelectric sources with low potential (1 W), commensurable with plenty of modern electron devices, have been developed in the Institute of Thermoelectricity. Due to their high reliability and long life such power supplies contribute to development of new modern apparatuses that are vastly applied in various spheres of national economy, science and technology.