



Микитюк П.Д.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Микитюк П.Д.

(Институт термоэлектричества, ул. Науки, 1,
Черновцы, 58029, Украина)

- Создание безопасных автономных термоэлектрических источников питания малой мощности с большим сроком службы делает возможным появление современных устройств различного назначения с минимальным уровнем потребления электроэнергии. В частности, актуальными являются исследования в области создания таких источников питания для систем охранной сигнализации. В данной статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований наряду с достижениями в области создания физических основ термоэлектрических устройств для непосредственного преобразования тепловой энергии почвы в электрическую энергию. Указанные исследования привели к созданию автономных возобновляемых источников питания для систем охранной стабилизации со сроком службы до 25–30 лет. Приводится сравнительный анализ основных характеристик почвенных термоэлектрических источников питания для систем охранной сигнализации. Определены перспективные сферы применения почвенных термоэлектрических источников питания, использующих тепловые потоки в почве.

Введение

Поддержание работоспособности разных автономных систем длительного пользования невозможно без наличия соответствующих источников электропитания.

Современные электронные устройства характеризуются весьма низкими уровнями энергопотребления (от десятков милливатт до нескольких ватт). Такой прогресс в области электроники усилил потребность в эффективных перезаряжаемых источниках питания малой мощности, что привело к созданию *Ni-Cd* аккумуляторов, являющихся наиболее распространенными в данное время. Они обладают большим числом циклов «заряд-разряд», низкой стоимостью и технологичностью изготовления. Однако, им присущи низкая удельная энергоёмкость и большой саморазряд, не позволяющий долго сохранять такие источники тока в нерабочем состоянии, а также, так называемый «эффект памяти».

Попытки улучшения *Ni-Cd* батарей привели к созданию никель-металлогидридных (*Ni-MH*) аккумуляторов. Как и *Ni-Cd*, они имеют номинальное напряжение 1.2 В, но в 2 раза лучшую энергоёмкость, допускают ускоренный заряд и практически свободны от «эффекта памяти».

Сегодня все чаще используются литиевые батареи, обладающие более высоким напряжением (~ 3.6 В) и сравнительно малым саморазрядом.

Тем не менее, всем наиболее распространенным в настоящее время источникам питания присущи одинаковые недостатки: необходимость обслуживания при перезарядке, большой саморазряд, ограниченный в пределах 2–3 лет ресурс работы, необходимость утилизации. Поэтому актуальным является поиск иных, источников питания пригодных для питания автономных изделий со сроком службы более 10 лет.

Одним из альтернативных вариантов решения задачи по созданию автономного экологически чистого источника питания с большим сроком службы является применение

термоэлектрических источников питания, использующих возобновляемую тепловую энергию почвы, которая обладает неограниченным запасом низкопотенциальной энергии. Информация о создании таких источников питания является целью настоящей работы.

Физические основы термоэлектрического преобразования тепла почвы

Принципиальным преимуществом термоэлектрического способа преобразования энергии есть возможность его функционирования при малых перепадах температуры, что как раз характерно для почвы. Кроме того, ТЭГ обладает рядом других преимуществ: ресурс работы 25÷30 лет, бесшумность, независимость от ориентации в пространстве, независимость его ККД и ресурса работы от мощности и др. [1].

Детальный анализ литературы по физике почвы [2÷6] показал, что в почвах постоянно имеет место градиент температуры, сосредоточенный в деятельном слое. Для большинства

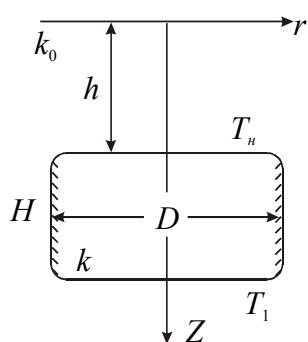


Рис. 1. Схематическое изображение физической модели ПТЭГ.

климатических зон и типов почвы перепад температуры ΔT в деятельном слое мало отличается от ΔT в системе «почва-воздух». Более того, тепловые процессы, происходящие в почве, отличаются большей стабильностью. На них меньше влияют динамические изменения условий окружающей среды на поверхности почвы. Углубленный анализ и экспериментальные исследования тепловых процессов, протекающих в почве при изменении условий теплообмена на её поверхности, позволил учесть особенности формирования тепловых потоков в почве при выборе и исследовании физической модели почвенного термоэлектрического генератора (ПТЭГ), преобразующего энергию деятельного слоя почвы, рис. 1. Модель представляет собой ПТЭГ цилиндрической формы высотой H и диаметром D ,

тепловоспринимающая поверхность которого расположена на глубине h от поверхности почвы. При исследовании модели приняты следующие обозначения: k_0 – теплопроводность почвы, r и Z – цилиндрические координаты, T_1 и T_n – температуры рабочих поверхностей ПТЭГ.

Путем использования многофакторного компьютерного проектирования и метода источников и стоков Ранкина найдено распределение температуры ΔT и теплового потока q в почве с размещением в ней ТЭГ. Аналитические выражения для ΔT и q имеют вид:

$$\Delta T = \frac{q_0}{k_0} \exp(-\gamma h) F\left(k, \frac{H}{D}\right) \quad (1)$$

$$q = q_0 \exp(-\gamma h) k F\left(k, \frac{H}{D}\right), \quad (2)$$

где q_0 – амплитуда удельного теплового потока на поверхности почвы, k – отношение теплового сопротивления ТЭГ к тепловому сопротивлению эквивалентного объёма почвы, H/D – фактор формы ТЭГ, F – сложная функция собственных аргументов, $y = \sqrt{w/2x}$, w – циклическая частота удельного теплового потока на поверхности почвы, x – температуропроводность почвы.

Получено также выражение для определения электрической мощности ТЭГ W с учетом зависимости от его геометрических размеров и глубины расположения в почве:

$$W = V q_0^2 \frac{\exp(-2\gamma h)}{\sqrt{2}} Z^* k F^2\left(k, \frac{H}{D}\right) \quad (3)$$

где V – объём ТЭГ, Z^* – термоэлектрическая эффективность.

Из (3) следует, что выходная мощность W линейно зависит от объема ТЭГ V , квадратично от амплитуды теплового потока q_0 на поверхности почвы, по экспоненте уменьшается с глубиной расположения ТЭГ в почве, немонотонно зависит от параметра k и фактора формы ТЭГ H/D .

Условием оптимального выбора теплового сопротивления ТЭГ для конкретного типа почвы и фактора формы H/D является соотношение, имеющее вид

$$k_{opt} = \frac{4H}{\pi D} \approx 1.3 \frac{H}{D}. \quad (4)$$

Соотношение (4) позволяет осуществлять оптимизацию ТЭГ по его теплофизическим характеристикам и аналогичным характеристикам почвы для достижения наилучших характеристик почвенного ТЭГ (ПТЭГ).

Результатом исследований стало создание физических основ термоэлектрических приборов прямого преобразования тепловой энергии почвы в электрическую [7, 8].

Экспериментальные исследования по созданию ПТЭГ

Низкопотенциальный характер тепловых процессов в почве предъявляет особые требования к основному конструктивному элементу ПТЭГ – его многоэлементной термоэлектрической батарее. Многоэлементность термобатареи является одним из определяющих факторов в конструкции ПТЭГ, работающего при малых ΔT и q , существующих в почве.

Исследования показали, что для изготовления термобатареи оптимальным является применение термоэлектрических материалов на основе Bi_2Te_3 . Из такого материала можно изготовить ветви термоэлементов сечением порядка $0.15 \div 0.25$ мм. Упомянутый материал в диапазоне температур, характерном для работы ПТЭГ ($250 \div 330$ К), имеет лучшую термоэлектрическую эффективность Z^* .

В Институте термоэлектричества создана технология изготовления многоэлементных термобатарей с миниатюрными ветвями термоэлементов, рассчитанных на ресурс работы не менее $25 \div 30$ лет. С использованием таких термобатарей создана унифицированная конструкция ПТЭГ, которая используется в качестве базовой при исследовании влияния разных факторов на её работоспособность. Комплексные исследования работы ПТЭГ подтвердили суточный и сезонный характеры изменений его выходных характеристик. Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными о характере тепловых потоков в почвах [5]. Характерный ход изменения выходной мощности и электродвижущей силы ε ПТЭГ в течение суток для климатических условий умеренного климата (г. Черновцы, Украина) показаны на рис. 2 и рис. 3.

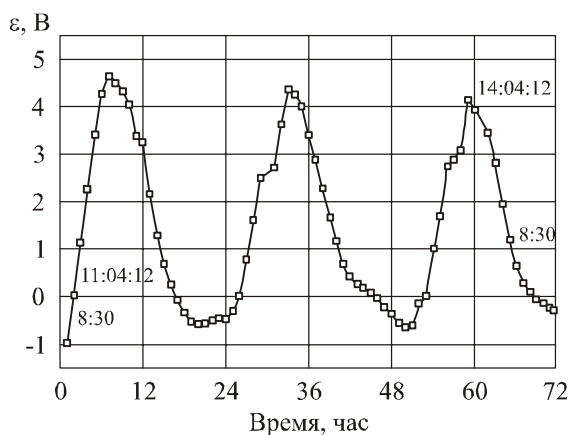


Рис. 2. Характер суточных изменений термоЭДС ПТЭГ.

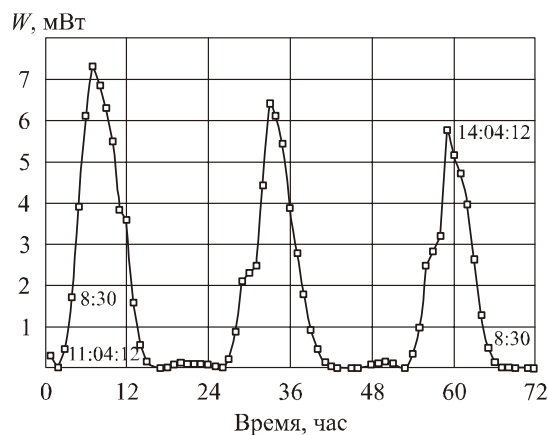


Рис. 3. Динамика суточных изменений выходной мощности ПТЭГ.

Из рисунков 2 и 3 видно, что динамика изменений выходных характеристик ПТЭГ характеризуется резким максимумом в обеденное время (12 – 15 часов дня). В ночное время она уменьшается. Причем, в связи с изменением направления теплового потока на противоположный, в ночное время может иметь место изменение полярности вырабатываемого ПТЭГ тока.

В течение года, рис. 4, наименьшее количество электроэнергии вырабатывается ПТЭГ в марте и октябре, а максимальная – в июне-августе. Для других климатических зон эти показатели могут иметь иной зависящий от конкретных климатических условий характер.

Исследования показали, что эффективность работы ПТЭГ существенно зависит от глубины расположения в почве его тепловоспринимающей поверхности. Максимальные значения W , характерны при её расположении у поверхности почвы. При более глубоком расположении ПТЭГ в почве эффективность работы по экспоненте уменьшается с глубиной, рис. 5.

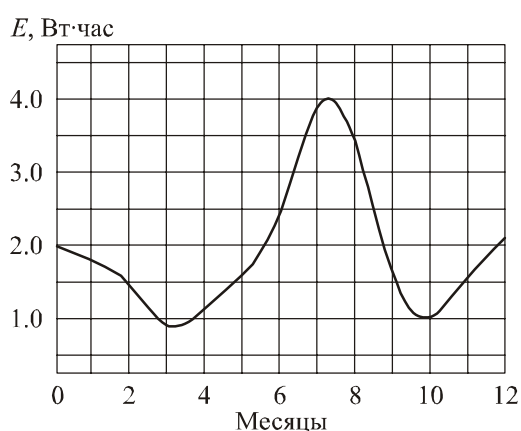


Рис. 4. Электроэнергия, вырабатываемая ПТЭГ, в течение года.

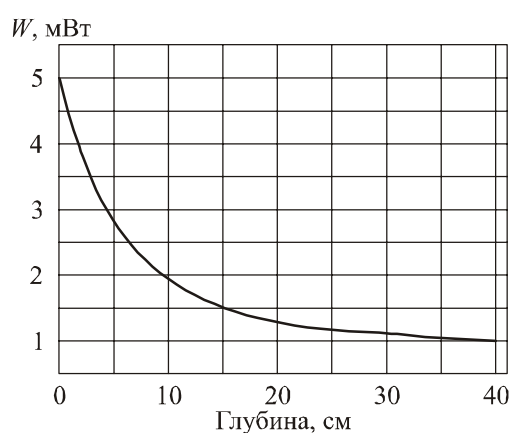


Рис. 5. Зависимость выходной мощности ПТЭГ от глубины его расположения в почве.

В целом, результаты исследований подтвердили теоретические предпосылки о возможности создания ПТЭГ и его пригодность для использования в разных климатических зонах, а также позволили выработать практические рекомендации по оптимальному расположению ПТЭГ в почве с учетом климатических условий их применения и создать не имеющий аналогов параметрический ряд ПТЭГ с выходным напряжением 3, 6, 12 В и ресурсом работы 30 лет,

Рациональные области применения ПТЭГ

Широкие возможности применения ПТЭГ обусловлены прежде всего тем, что современные электронные устройства обладают низким уровнем энергопотребления, совместимым с мощностью, вырабатываемой ПТЭГ. Еще одним преимуществом ПТЭГ является его максимальная приближенность к потребителю, ведь он может быть установлен в почву в любом необходимом месте. Полная автономность, экологическая чистота, ресурс работы 25 – 30 лет существенно расширяют сферу возможных применений ПТЭГ.

Такая уникальная особенность ПТЭГ, как отсутствие демаскирующих факторов, позволяет особенно эффективно использовать такие источники питания для элементов систем охранной сигнализации: датчиков движения, охранных извещателей, систем обнаружения, датчиков охраны периметра и др., основные параметры энергопотребления которых приведены в таблице.

Как видно из таблицы, элементы охранных систем потребляют менее 0.5 Вт электрической энергии. Необходимое для них электропитание обеспечивается применением

вышеупомянутых химических источников либо применением зависящих от централизованных линий энергообеспечения специальных источников питания.

Охранные устройства, в основном, функционируют в режиме ожидания, который для большинства химических источников является неэффективным и даже губительным, т.к. приводит к ускоренному саморазряду и быстрому уменьшению ресурса работы, в то время как для ПТЭГ работа в режиме ожидания является благоприятной. Кроме того, для обеспечения необходимого напряжения нужно использовать батареи химических источников, состоящие из значительного их количества. Все они требуют постоянной подзарядки. Естественно, что об автономности и большом сроке службы в этом случае не может быть и речи, равно как и при использовании специальных источников питания.

Таблица

п/п	Тип охранной системы	Потребляемое напряжение, В	Потребляемый ток, мА	Потребляемая мощность, Вт	S_{np} ПТЭГ, м ²
1.	Датчик движения SPR-600	7.8 – 16	9	0.07 – 0.14	0.014 – 1.025
2.	Датчик движения (Crow) SPR-100	7.8 – 16	8 – 14	0.062 – 0.22	0.0124 – 0.044
3.	Извещатель охранный «Стриж»	10 – 15	<`12	0.12 – 0.18	0.024 – 0.036
4.	Извещатели «Жук»-1.2	12 – 24	<`27	0.32 – 0.64	0.064 – 0.128
5.	Извещатель охранный акустический «Соло»	10÷15	<`25	0.25 – 0.375	0.05 – 0.075
6.	Извещатель опто-электронный «Рух»	10÷15	<`25	0.25 – 0.375	0.05 – 0.075
7.	Охранный извещатель «Дуэт»	10.2 – 15	<`30	0.31 – 0.45	0.062 – 0.09
8.	Извещатель охраны периметра «Барьер-300г»	12	40	0.48	0.096
9.	Система обнаружения вибрации SL-3	12	35	0.42	0.084
10.	Извещатель ИК, пассивные ИД 40-70	8 – 28	16	0.128 – 0.45	0.026 – 0.09

В то же время, нами было показано [8], что даже для климатических условий умеренного климата путем использования ПТЭГ можно получать до 5 Вт электрической мощности с 1 м² почвы. В таблице приведены размеры площадей теплоприемных площадок ПТЭГ (S_{np} ПТЭГ), которые могут обеспечить электрическим питанием соответствующие типы охранных систем вместо химических источников питания. Причем, применением ПТЭГ в качестве источников питания для охранных систем возможности их использования не ограничиваются.

В настоящее время широкое распространение получили микросистемы, осуществляющие обработку сигнала с преобразованием физических величин [9]. С помощью подобных систем создаются различные средства обнаружения и распознавания объектов. В основе средств

обнаружения используется сейсмический принцип, суть которого – анализ сейсмических возмущений почвы, вызванных движением. Такие сейсмодатчики отличаются миниатюрным исполнением, малыми уровнями энергопотребления, работой в режиме ожидания. Так сейсмодатчики серий СД и СДГ потребляют всего 0.4 мА при напряжении 5 В. Точечный вибродатчик серии ВД потребляет всего 0.11 мА при напряжении 5 В. Регистраторы сейсмических сигналов «Байкал – АСН» питаются от источника постоянного тока с номинальным напряжением 12 В при силе тока 25 мА. Приведенные типы сейсмодатчиков потребляют электрическую мощность даже меньшую, чем охранные системы, указанные в таблице. Поэтому, применение ПТЭГ для обеспечения питания сейсмодатчиков также является обоснованным.

Эффективным является применение ПТЭГ для питания сигнальных устройств и трассирования дорог на отдаленных и пустынных участках. Особенно – при расположении ПТЭГ под асфальтовым покрытием, коэффициент поглощения солнечной энергии которого составляет 89%.

С помощью ПТЭГ можно осуществить постоянный мониторинг за метеоусловиями для метео и агрономических исследований, который является весьма затратным для отдаленных и труднодоступных территорий.

Очевидно, что возможности применения ПТЭГ не исчерпываются указанными направлениями их применения, определенными с позиции сегодняшнего дня.

Выводы

1. Подтверждена возможность и целесообразность создания автономных источников питания малой мощности, с ресурсом работы 25 – 30 лет, использующих принцип термоэлектрического преобразования тепловой энергии деятельного слоя почвы.
2. Определены перспективные области применения ПТЭГ. Подчеркнута перспективность использования ПТЭГ в системах охранной сигнализации.

Литература

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник / Л.И. Анатычук. – К.: Наукова думка, 1979. – 767 с.
2. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв / А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1976. – 352 с.
3. Нерпин С.В. Физика почвы / С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1967. – С. 12 – 237.
4. Шульгин А.Н. Температурный режим почвы / А.Н. Шульгин. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – С. 19 – 33.
5. Димо В.Н. Тепловой режим почв / В.Н. Димо. – М.: Колос, 1972. – С. 16 – 61.
6. Нерпин С.В. Энерго- и массообмен в системе “растение – почва – воздух” / С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 23 – 86.
7. Микитюк П.Д. О термоэлектрическом преобразовании тепловых потоков в почвах / П.Д. Микитюк // Термоэлектричество. – 2003. – №1. – С. 88 – 93.
8. Анатычук Л.И. Термогенераторы, использующие тепловые процессы в почвах / Л.И. Анатычук, П.Д. Микитюк // Термоэлектричество. – 2003. – №3. – С. 91 – 100.
9. Малашевич Н.И. Микросхема для обработки низкочастотного сигнала с сейсмодатчика / Н.И. Малашевич, А.С. Росляков и др. // Известия вузов. Электроника. – 2010. – №61 (86). – С. 29 – 32.

Поступила в редакцию 15.11.2012.