

А.А.Молнар<sup>1</sup>, И.П.Куритник<sup>2</sup>, В.В.Герасимов<sup>3</sup>, Д.Ж.Карাবেкова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ужгородский государственный университет, Украина;

<sup>2</sup>Институт управления и инженерии продукции, Освенцим, Польша;

<sup>3</sup>Мукачевский государственный университет, Украина;

<sup>4</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова  
(E-mail: karabekova71@mail.ru)

## Пьезоэлектричество как источник электроэнергии для портативных электронных устройств в системе «человек–одежда»

Данная статья посвящена исследованию новых видов электроэнергии для питания портативных носимых устройств в системе «человек–одежда». Предложено использование пьезоэлектричества. Пьезоэлектричество является одним из альтернативных источников энергии для питания электронных портативных устройств. Выработка энергии предусматривается через внедрение специальных видов капсулированной керамики в деформационно-нагружаемые интерфейсные зоны системы «человек–одежда». Рассмотрены различные виды материалов (в частности, керамика), которые могли найти применение как источники энергии дополнительных модулей фиксации экстремальных состояний для работников спасательных служб.

*Ключевые слова:* пьезоэлектричество, человек, одежда, портативные устройства, электропитание.

В последнее время проблеме электропитания портативных электронных устройств уделяется все больше внимания. Сегодня практически каждый человек имеет, как минимум, одно портативное устройство — мобильный телефон. Не менее чем телефон распространены и используются такие устройства, как — MP3 плееры, планшеты и ряд других популярных гаджетов. Все эти устройства нуждаются в довольно мощных источниках портативного электропитания, в качестве которых, как правило, используются литий-ионные аккумуляторы. Как правило, для их подзарядки используется обычное подключение к электросети, что значительно снижает удобство эксплуатации. Поэтому существует задача по поиску новых альтернативных источников энергии для электропитания и подзарядки устройств. Причем важным моментом является то, чтобы такие источники были портативными и не ограничивали пользователя гаджета регулярным поиском стационарной розетки.

Одним из возможных источников электрической энергии для мобильных электронных изделий могут быть пьезогенераторы, которые вырабатывают энергию от движения человека.

Данные ожидаемого уровня электрической энергии от движения человеческого тела приведены в таблице 1. Как видно из таблицы, наибольшие значения электрической энергии, вырабатываемой человеком, связаны с ходьбой. Из сравнения генерируемой и потребляемой энергии понятно, что источники питания, связанные с ходьбой или дыханием, могут быть использованы в любом носимом приборе или устройстве.

Т а б л и ц а 1

Энергия, вырабатываемая человеком при различных видах движения

Активное действие	Генерируемая механическая энергия	Электрическая энергия	Количество энергии, затрачиваемое на движение
Дыхание	0.83 Вт	0.091-0.42Вт	0.5-2.5 Дж
Движение рук	3 Вт	0.33-1.5 Вт	1.5-6.7 Дж
Движение пальцев	6,9-19 мВт	0.76-2.1 мВт	143-266 мкДж
Ходьба	67 Вт	5 Вт	8.3-14 Дж

Пьезоэлектрические генераторы, основанные на движении верхних конечностей, в перспективе в состоянии обеспечивать питание GSM- и Bluetooth-устройств с низким энергопотреблением.

В качестве преобразователей движения в электрическую энергию наиболее простыми и перспективными считаются пьезоэлектрические преобразователи, работающие на деформации изгиба (вибрационные преобразователи) или на деформации сжатия.

Как правило, пьезоэлектрические генераторы являются преобразователями механической энергии (с давлением не менее 1–2 кН) в электрическую при циклическом нагружении. При этом переменное напряжение преобразуется с помощью мостовых выпрямителей в постоянное. Поскольку пьезоэлектрический преобразователь работает в течение продолжительного времени с относительно малой электрической энергией, производимой за один цикл, как правило, используется система накопления и хранения энергии (рис.). Для стабилизации выходного напряжения пьезогенератора на заданном уровне используется система с обратной связью, специальный контроллер. Контроллер также обеспечивает согласование импеданса пьезогенератора с выходным импедансом потребителя энергии.

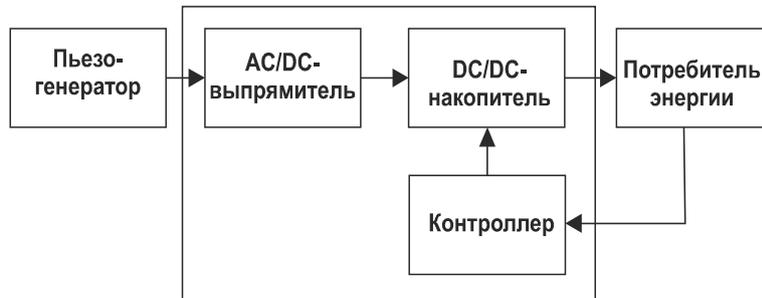


Рисунок. Блок-схема модуля питания

Для преобразования механической энергии в электрическую наиболее широко используются хорошо зарекомендовавшие себя материалы, такие как PZT-керамика (керамика на основе цирконата-титаната свинца, или ЦТС-керамика) или полимеры — PVDF поливинилиденфторид (ПВДФ) [1, 2].

Разновидностью PZT-керамики является коммерческий продукт PIC163 и PIC144. Данный тип керамики применяется многими американскими компаниями для изготовления пьезоэлектрических устройств, в частности компанией PI [3]. Однако, несмотря на высокую технологичность данных материалов, они не позволяют достичь максимальных коэффициентов преобразования. Поэтому по всему миру ведется интенсивный поиск новых альтернативных пьезоэлектрических материалов. Одним из них можно считать монокристалл  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ , для которого максимальное значение эффективного гидростатического пьезоэлектрического коэффициента составляет  $d_h^{(1)} = 260$  pC/N. Для этого пластина  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  вырезается в плоскости (XYI)-20°. В случае изготовления композита на основе измельченного порошка  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  и, например, эпоксидной смолы расчетное значение  $d_h^{(1)} = 136$  pC/N, что неплохо совпадает с полученными экспериментальными значениями [4].

Т а б л и ц а 2

**Сравнения пьезокоэффициента разных материалов**

	PIC163	PIC144	LiNbO <sub>3</sub>	Sn <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>6</sub>
E	1200	1250	85	300
tg δ	0.01	0.004	0.1	0.001
$d_h^{(1)}$	600	265	70	260

Как видно из таблицы 2, несмотря на то, что по такому параметру, как гидростатический пьезоэлектрический коэффициент PZT-керамика PIC163 в два раза лучше Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub>, однако по комбинации параметров (меньшее значение ε и tg δ) монокристалл Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> намного привлекательней. При изготовлении многослойных композитных пьезоэлектрических преобразователей на основе Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub>, встраиваемых в одежду (преобразование растяжения, обусловленного дыханием) или в обувь [6] (часть подошвы под пальцами и каблук), по предварительным данным, мы можем получить 25–50 мВт электроэнергии, которая после накопления (в ионисторах-суперконденсаторах) вполне может быть использована для питания носимой электроники.

В то же время создание комплексной системы энергообеспечения «человек–одежда», куда бы обувь входила как неотъемлемая её часть, довольно проблематично, так как необходимо использование проводного соединения для отвода получаемой электрической энергии. Это приводит к значительному ухудшению показателя надежности и удобства конструкции в целом.

Одним из вариантов повышения эффективности работы пьезогенераторов в системе «человек–одежда» является их применение в спецодежде спасательных или пожарных служб. Данная спецодежда предусматривает использование дополнительных тяжелых носимых элементов в общей экипировке костюма спасателя — кислородные баллоны, пояса, различные спецсредства. Это приводит к появлению дополнительных статических и динамических нагрузок на поверхность тела человека [7] и в результате может использоваться как аддитивный источник электроэнергии.

Более того, по количеству «выкидываемой» пьезоэнергии за единицу времени (вычисления микроконтроллером) можно фиксировать величину внешнего «нагружения» спасателя в экстремальных случаях. В случае превышения допустимой нормы — оповещать о возникшей опасности специальными средствами беспроводной связи.

В данную систему довольно просто можно интегрировать ряд дополнительных датчиков — для измерения температуры (внешней и внутренней), пульса, артериального давления [8]. Это позволит на порядок повысить эффективность и информативность конструкции в целом.

Следует заметить, что ряд производителей электронных компонентов уже достигли успехов в разработке специальных средств обеспечения электропитанием проводных и беспроводных датчиков при их работе от альтернативных источников питания [9,10].

Таким образом, можно утверждать, что пьезоэлектричество является одним из альтернативных источников энергии для питания электронных портативных устройств.

Исследования показали, что наиболее подходящим материалом для практического применения являются керамические материалы на основе  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . Эти пьезоматериалы, в случае их размещения в нагрузочно-деформационных зонах системы «человек–одежда», могут быть источниками электроэнергии. При этом открывается перспектива использования данных источников энергии как дополнительных модулей фиксации экстремальных состояний для работников спасательных служб.

#### Список литературы

- 1 *Maior M.M., Vysochanskii Yu.M., Prits I.P., Molnar Sh.B., Slivka V.Yu., Rogach E.D., Savenko F.I., Kudinov A.P.* Piezoelectric effect in  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  Single-Crystals // *Inorganic materials*. — 1991. — № 27. — P. 604–606.
- 2 *Maior M.M., Gurzan M.I., Molnar Sh.B., Prits I.P., Vysochanskii Yu.M.* Effect of Germanium Doping on Pyroelectric and Piezoelectric Properties of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  Single Crystal // *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.* — 2000. — № 47. — P. 877–880.
- 3 [ЭР]. Режим доступа: Интернет ресурс: [www.pi-usa.us](http://www.pi-usa.us)
- 4 *Panoš Stanislav, Panošová Dagmar.* Influence of the sample orientation in  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  crystals on the hydrostatic piezoelectric coefficients // *Central European Journal of Physics*. — 2003. — Vol. 1. — Issue 1. — P. 91–99.
- 5 *Kymissis J., Kendall C., Paradiso J.J., Gershenfeld N.* Parasitic power harvesting in shoes // *Proc. 2-nd IEEE Int. Conf. Wearable Computing*. — Los Alamitos, August, 1998. — P. 45–47.
- 6 *Shenck N.S., Paradiso J.A.* Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectric // *Proc. IEEE Micro*. May-June, 2001. — Vol. 21. — № 3. — P. 34–37.
- 7 *Gerasimov V., Dulishkovich Y., Maga M.* Improving sensor system for measument force loading parameters for clothing using a microcontroller // *Proc. IV Int. Conferenc «Inzynier XXI Wieku», ATH, Poland, 2014*. — P. 61–66.
- 8 *Куритник И.П., Молнар О.О., Герасимов В.В.* Розробка вимірювальної системи фіксації параметрів середовища «одяг-людина» для працівників пожежно-рятувальних служб // *Мат. міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми наукового та освітнього простору в умовах поглиблення євро інтеграційних процесів», 14–15 травня*. — Мукачево, 2015. — С. 333–334.
- 9 *Dave Salerno.* Extend remote sensor battery life with thermal energy harvesting // *Linear technology*. — 2015. — Vol. 25. — № 2. — P. 24–27.
- 10 *Бугаев В., Дидук В., Мусиенко М.* Сборщики энергии вибраций от Mide Technology приходят на смену батарейкам // *Новости электроники*. — 2015. — № 7. — С. 23–27.

А.А.Молнар, И.П.Куритник, В.В.Герасимов, Д.Ж.Карабекова

## «Адам–киім» жүйесінде портативті электронды құрылғылар үшін пьезоэлектрлікті электр энергиясы көзі ретінде пайдалану

Мақала «адам–киім» жүйесінде портативті тасымалдағыш құрылғыларды қоректендіруге арналған электр энергияның жаңа түрлерін зерттеуге арналған. Пьезоэлектрлік әдісті қолдану ұсынылды. Пьезоэлектр электронды портативті құрылғыларды қоректендіруге қажетті балама энергия көзі болып табылады. «Адам–киім» жүйесінің деформациялық жүктелген интерфейстік зоналарында капсулалық керамиканың арнайы түрлерін енгізу арқылы энергияны өндіру алдын ала қарастырылды. Материалдың әр түрлі түрлері, соның ішінде қорғаныс қызметкерлері үшін төтенше жағдайларда қосымша тіркеу модульдерінде энергия көзі ретінде қолданыс табуы мүмкін керамика қарастырылған.

A.A.Molnar, I.P.Kuritnik, V.V.Gerasimov, D.Zh.Karabekova

## Piezoelectricity as the source of electricity for portable electronic devices in the system «person–clothing»

This work is devoted to research of new types of electricity to power portable wearable devices in the system «man–clothes». Proposed use of piezoelectricity. Piezoelectricity is one of the alternative sources of energy to power the electronic handheld devices. Power generation provides through the introduction of special kinds of encapsulated strain-ceramic plate interface zone system «man–clothes». The various types of materials, such as ceramics, which can be used as energy sources additional modules fixing extreme conditions for rescue workers.

### References

- 1 Maior M.M., Vysochanskii Yu.M., Prits I.P., Molnar Sh.B., Slivka V.Yu., Rogach E.D., Savenko F.I., Kudinov A.P. *Inorganic materials*, 1991, 27, p. 604–606.
- 2 Maior M.M., Gurzan M.I., Molnar Sh.B., Prits I.P., Vysochanskii Yu.M. *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, 2000, 47, p. 877–880.
- 3 [ЭР]. Режим доступа: Интернет ресурс: [www.pi-usa.us](http://www.pi-usa.us)
- 4 Panoš Stanislav, Panošová Dagmar. *Central European Journal of Physics*, 2003, 1, issue 1, p. 91–99.
- 5 Kymissis J., Kendall C., Paradiso J.J., Gershenfeld N. *Proc. 2-nd IEEE Int. Conf. Wearable Computing*, Los Alamitos, August, 1998, p. 45–47.
- 6 Shenck N.S., Paradiso J.A. *Proc. IEEE Micro. May-June*, 2001, 21, 3, p. 34–37.
- 7 Gerasimov V., Dulishkovich Y., Maga M. *Proc. IV Int. Conferenc «Inzynier XXI Wieku»*, ATH, Poland, 2014, p. 61–66.
- 8 Kurytnyk I.P., Molnar A.A., Gerasimov V.V. *Actual problems of scientific and educational space in terms of deepening European integration processes: Materials of International scientific-practical conference*, May 14–15, Mukachevo, 2015, p. 333–334.
- 9 Dave Salerno. *Linear technology*, 2015, 25, 2, p. 24–27.
- 10 Bugaev V., Diduk V., Musienko M. *Electronics News*, 2015, 7, p. 23–27.