

нов Расул Вагидович; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. – СПб., 1998.

2. Гусейнов Р.В. Математическая модель процесса обработки отверстий сверлами на основе нелинейной динамики. Ч.1. Постановка задачи/ Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р.// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - № 22.- 2011.- С.64-68.

3. Гусейнов Р.В. Совершенствование обработки отверстий небольшого диаметра/ Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р. // Вестник машиностроения. - №9.- 2012.- С. 50-52.

4. Гусейнов Р.В. Обоснование базы данных для исследования динамических процессов при резании / Гусейнова М. Р., Гусейнов Р.В. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.- №4 (35).-2014.- С.36-44.

**УДК 621.362**

*Исмаилов Т.А., Ахмедова Л.М., Евдулов Д.В., Евдулов О.В., Челушкин Д.А.*

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО  
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА**

*Ismailov T.A., Ahmedova L.M., Evdulov D.V., Evdulov O.V., Chelushkin D.A.*

**CONVERTER SOLAR RADIATION INTO ELECTRICITY TO SUPPLY  
THE AUTOMOTIVE SEMICONDUCTOR THERMOELECTRIC AIR  
CONDITIONING**

*В статье рассмотрена возможность повышения эффективности преобразователей солнечной радиации в электроэнергию за счет конструктивного совмещения фотоэффекта, термоэффекта Зеебека и полупроводниковых солнечных батарей, что позволит создать интегральное устройство для обеспечения электропитания полупроводникового термоэлектрического автомобильного кондиционера.*

***Ключевые слова:** преобразователь солнечной радиации, электроэнергия, автомобильный кондиционер, полупроводниковые термоэлектрические устройства.*

*The article considers the possibility to increase the efficiency of converters of solar radiation into electricity by combining constructive photoelectric effect, See-*

*beck thermoeffect and semiconductor solar cells, which will create integrated device to provide power semiconductor thermoelectric automobile air conditioner.*

**Key words:** *converter of solar radiation, energy, automotive air conditioning, semiconductor thermoelectric devices.*

На современном этапе развития общества наиболее кризисная ситуация сложилась в энергетике. Современные способы получения электроэнергии при помощи гидростанций, тепловых станций и атомной энергетики практически исчерпали себя и в большинстве случаев вредят экологии региона, как в процессе функционирования, так и в результате техногенных аварий. Существующие альтернативные виды добычи электроэнергии недостаточно эффективны для создания устойчивой конкуренции.

Одним из наиболее перспективных видов использования возобновляемых источников энергии является применение преобразователей солнечной радиации в электроэнергию. Основными методами для получения электроэнергии из солнечной радиации являются фотоэффект, термоэффект Зеебека и полупроводниковые солнечные батареи. Всем им присущ невысокий КПД и целый ряд недостатков [1, 2, 3].

Для повышения эффективности преобразователей солнечной радиации в электроэнергию целесообразно конструктивно совместить все три способа в одном интегральном устройстве.

В солнечной батарее часть фотонов экранируется электродом, часть фотонов совершает полезную работу по генерации в  $p-n$ -переходах электронных пар электрон – дырка, приводящих к неравновесной разности потенциалов, а остальные фотоны нагревают устройство. Этим обусловлен невысокий КПД при преобразовании на полупроводниковой солнечной батарее (до 18%) [1].

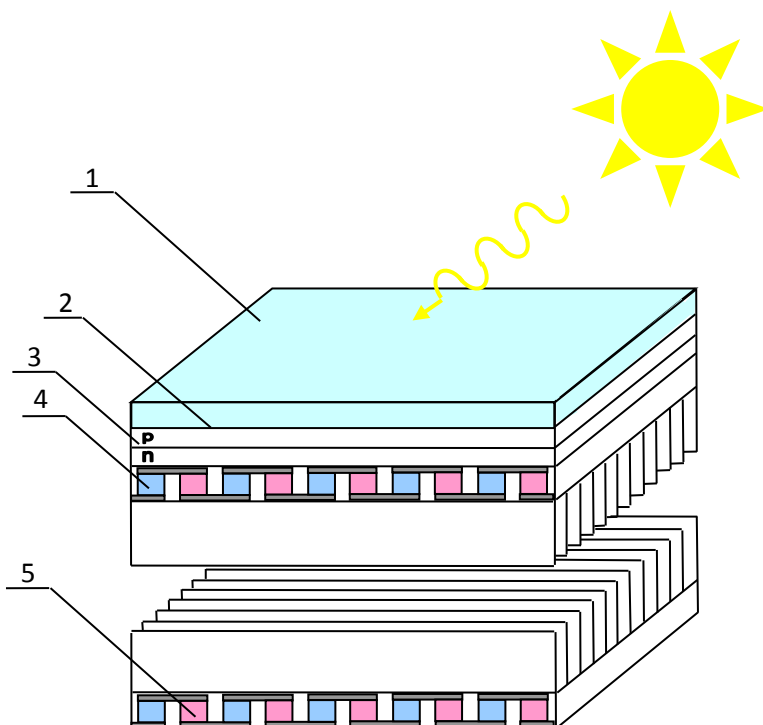
Так при фотоэффекте, только часть фотонов совершает полезную работу по выбиванию электронов из электродов, остальные либо отражаются, либо промахиваются, либо нагревают устройство. Этим обусловлен невысокий КПД при фотоэффекте (до 20%) [2].

Термоэлектрогенератор преобразует перепад температур в электричество в соответствии с эффектом Зеебека, но только часть фотонов отражаются. Этим обусловлен невысокий КПД при преобразовании на термоэлектрогенераторе (до 10%) [3].

Таким образом, то, что является недостатком для одного эффекта, является рабочим режимом для другого эффекта, то есть большая часть фотонов будет участвовать в генерации электроэнергии.

На рисунке 1 приведена структура преобразователя солнечной радиации в электроэнергию. Одним из вариантов применения, является использование преобразователя для обеспечения электропитания полупроводникового термоэлектрического автомобильного кондиционера. Кондиционер может быть выполнен в виде независимого автономного устройства, состоящего из преобразователя солнечной энергии для выработки электричества и охладителя на основе полупроводниковых термоэлектрических устройств, использующих

эффект Пельтье [4, 5, 6]. Встроенный микроконтроллер позволит поддерживать микроклимат в салоне автомобиля в автоматическом режиме, так как, чем ярче будет светить солнце, тем эффективнее будет работать преобразователь солнечной радиации в электроэнергию, и тем сильнее будет охлаждаться салон автомобиля. Кроме того, имеется возможность часть электроэнергии направить на подзарядку автомобильной аккумуляторной батареи (например, зимой).



**Рисунок 1** - Структура преобразователя солнечной радиации в электроэнергию

Функционирует устройство следующим образом. На первом этапе фотоны проходят сквозь прозрачный параллелепипед 1, из которого откачен воздух для того, чтобы исключить кондуктивный теплоперенос от горячих спаев преобразователя солнечной радиации в электроэнергию в окружающую среду (как в термосе). Это необходимо для создания парникового эффекта и сохранения более высокой температуры на горячем спае относительно холодного спае (обдуваемого атмосферным воздухом) полупроводникового термоэлектрического генератора 4, для которого большой перепад температур между спаями обуславливает высокий КПД [3].

Далее, фотоны попадают на солнечную полупроводниковую батарею с верхним металлическим электродом с низкой работой выхода электронов. На существующих солнечных полупроводниковых батареях металлический электрод экранировал ориентировочно (в зависимости от конструкции) до 10% фотонов и снижал КПД. В предлагаемом устройстве металлический электрод дополняет электронами, выбиваемыми фотонами (за счет фотоэф-

фекта), полупроводниковую  $p$ -зону солнечной батареи. Тем самым, прежний недостаток становится преимуществом, так как участвует в процессе генерации электричества. Вычислить количество выбиваемых электронов можно по формуле:

$$h \cdot \nu = A + \frac{m \cdot \mathcal{E}^2}{2}, \quad (1)$$

где  $h \cdot \nu$  – энергия фотона;  $A$  – работа выхода – минимальная работа, которую нужно совершить для выхода электрона из атома вещества [2].

Таким образом, получается, что частица света – фотон, поглощается электроном, который приобретает дополнительную кинетическую энергию  $\frac{1}{2}m \cdot \mathcal{E}^2$  и совершает работу выхода из атома, что дает ему возможность свободно двигаться, а направленное движение электрических зарядов и есть электрический ток, или, правильнее говоря, возникает электродвижущая сила – ЭДС. Ток от фотоэффекта тем больше, чем больше электронов в единицу времени будет выбито из электрода. На нагрузке будет совершаться полезная работа, и выделяться мощность, выработанная солнечным электрогенератором на основе фотоэффекта:

$$P_{\text{фЭ}} = I_{\text{фЭ}}^2 \cdot R_n = (e \cdot N \cdot t)^2 \cdot R_n, \quad (2)$$

где  $P_{\text{фЭ}}$  – мощность фотоэлектрогенератора;  $I_{\text{фЭ}}$  – ток через фотоэлектрогенератор;  $R_n$  – сопротивление нагрузки;  $e$  – заряд электрона;  $N$  – количество выбитых электронов;  $t$  – время.

Таким образом, будет использован фотоэффект для преобразования части фотонов.

Оставшаяся часть фотонов, пересекая  $p$ - $n$ -переход солнечной батареи 3, будет генерировать пары электрон - «дырка», которые диффундируют в  $p$ - и  $n$ -зоны, создавая неравновесные заряды. Солнечный элемент - это диод с гетеропереходом. Гетеропереход формируется с помощью двух различных полупроводниковых материалов.

Формула расчета эффективности полупроводниковых солнечных батарей выглядит следующим образом [1]:

$$I_D = I_0 \left( e^{qV/AkT} - 1 \right), \quad (3)$$

где  $I_D$  – ток через диод;  $V$  – приложенное напряжение;  $I_0$  – ток насыщения диода;  $q$  – заряд электрона;  $A$  – фактор идеальности;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура.

Для освещенного солнечного элемента уравнение диода принимает вид:

$$I_{\text{СЭ}} = I_D - I_\phi = I_0 \left( e^{qV/AkT} - 1 \right) - I_\phi, \quad (4)$$

где  $I_{\text{СЭ}}$  – ток солнечного элемента;  $I_\phi$  – фототок.

На нагрузке будет выделена мощность:

$$P_{CЭ} = I_{CЭ}^2 \cdot R_n = \left( I_0 \left( e^{qV/Akt} - 1 \right) - I_\phi \right)^2 \cdot R_n. \quad (5)$$

где  $P_{CЭ}$  – мощность солнечного элемента.

Те фотоны, которые прошли далее, и не будут преобразованы в электричество на полупроводниковой солнечной батарее, будут поглощены атомами кристаллической решетки и обеспечат нагрев верхнего спая термоэлектрогенератора 4, у которого нижний спай будет обдуваться потоком атмосферного воздуха, вследствие чего будет возникать перепад температур, и выработана электроэнергия за счет термоэффекта Зеебека.

Процесс выработки энергии в термоэлектрогенераторе определяется по формуле:

$$\eta = \frac{T_\Gamma - T_X}{T_\Gamma} \cdot \frac{M - 1}{M + T_X/T_\Gamma}, \quad (6)$$

$$M = \sqrt{1 + zT_{CP}}, \quad z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda},$$

где  $z$  - добротность полупроводникового материала, 1/К;  $T_\Gamma$  - температура горячего спая термоэлемента, К;  $T_X$  - температура холодного спая, К;  $T_{CP}$  - средняя температура ветви термоэлемента, К,

$$T_{CP} = \frac{T_\Gamma + T_X}{2},$$

$M$  - критерий Иоффе,  $\alpha$  - приведенная дифференциальная термо-ЭДС ветвей термоэлементов, мкВ/К;  $\sigma$  - приведенные электропроводность и теплопроводность ветвей термоэлементов соответственно в 1/(Ом·м) и Вт/(м·К) [3]. Зная термо-ЭДС и сопротивление нагрузки можно найти мощность электроэнергии выработанной полупроводниковым термоэлектрогенератором по формуле:

$$P_{ТГ} = \alpha^2 / R_n; \quad (7)$$

где  $\alpha$  - приведенная дифференциальная термо-ЭДС ветвей термоэлементов.

Таким образом, все три эффекта интегрально используются в преобразователе солнечной радиации для совместной выработки электроэнергии. Причем то, что являлось недостатком в отдельных устройствах и приводило к паразитным потерям и снижению КПД, в предлагаемом устройстве рационально дополняет друг друга.

Интегральная выработка электроэнергии в результате совместного влияния всех трех эффектов составит:

$$P_\Sigma = P_{\phiЭ} + P_{CЭ} + P_{ТГ}. \quad (8)$$

А общий КПД составит:

$$\mu = \frac{P_{\Phi\Delta} + P_{C\Delta} + P_{T\Gamma}}{P_{BX}} \cdot 100\% = \frac{(e \cdot N \cdot t)^2 \cdot R_n + (I_0(e^{qV/AkT} - 1) - I_{\Phi})^2 \cdot R_n + \alpha^2 / R^2}{P_{BX}} \cdot 100\% \quad (9)$$

где  $P_{BX}=1000 \text{ Вт/м}^2$ .

Совместное использование всех трех эффектов при соответствующей технологии изготовления (на 3D принтере), позволит повысить интегральный КПД ориентировочно до 35%, что существенно повысит конкурентоспособность готовых изделий на мировых рынках.

Разработанный преобразователь целесообразно использовать как на военных и гражданских объектах, так и для отдельных потребителей в быту. В качестве примера можно предложить вариант использования преобразователя солнечной радиации в электроэнергию для питания автомобильного кондиционера на основе полупроводниковых термоэлектрических устройств, с применением эффекта Пельтье, изображенном на рисунке 2.



**Рисунок 2** - Использование преобразователя солнечной радиации в электроэнергию для питания автомобильного кондиционера на основе полупроводниковых термоэлектрических устройств с применением эффекта Пельтье

Из рисунка 2 видно, что даже самый красивый автомобиль можно сделать еще красивее улучшив его функциональные потребительские опции, не меняя его дизайнерских характеристик. Устройство может быть установлено в автомобильном люке и работать в полностью автоматическом режиме под управлением микроконтроллера. Чем сильнее солнечная радиация и выше

температура, тем больше выработка электроэнергии и эффективнее работа полупроводникового термоэлектрического автомобильного кондиционера. Набегающий поток воздуха, возникающий при движении автомобиля, позволяет обойтись без принудительной вентиляции теплоотвода, как преобразователя солнечной радиации в электроэнергию, так и теплоотвода полупроводникового термоэлектрического автомобильного кондиционера.

**Вывод.** Разработанное устройство может быть внедрено в широком спектре электронных изделий для обеспечения автономного питания: датчики мониторинга среды, бытовые приборы, военная аппаратура, космические спутники, метеостанции, радиомаяки, сотовая телефонная связь и т.д.

**Библиографический список:**

1. [http://iu4.ru/publ/2012\\_ing\\_vest\\_08\\_01.pdf](http://iu4.ru/publ/2012_ing_vest_08_01.pdf).
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоэффект>.
3. [http://studopedia.ru/5\\_25361\\_effekt-zeebeka.html](http://studopedia.ru/5_25361_effekt-zeebeka.html).
4. Патент РФ №2417356. Способ оптимизации режимов работы термоэлектрической батареи с учетом геометрических и электротеплофизических параметров при импульсном питании/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.
5. Патент РФ №2335825 Термоэлектрическое устройство с высоким градиентом температур/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М.
6. Патент РФ №2205279. Термоэлектрический автомобильный радиатор/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Зарат А., Гафуров К.А.

УДК 621.362

*Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Шкурко А.С.,  
Магомедова П.А.*

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПАССИВНАЯ АНТЕННА ДЛЯ  
КОВОИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЗА СЧЕТ ОТРАЖЕНИЯ  
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА**

*Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Chelushkina T.A., Shkurko A.S.,  
Magomedova P.A.*

**ENERGY-EFFICIENT PASSIVE ANTENNA CODE PULSE  
MODULATION DUE TO THE REFLECTION OF MICROWAVE SIGNAL**

*В статье рассмотрена антенна в форме уголкового отражателя с р-и-п-диодами, интегрированная с корпусом приемо-передающего устройства, позволяющая не только обеспечить двунаправленное соединение с базовой станцией в результате трехкратного переотражения радиосигнала, но и*