

**Издатель**

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Студенческий научный электронный журнал

**StudArctic Forum**

<http://saf.petrso.ru>

**№ 3(7), 2017**

**Главный редактор**

И. В. Савицкий

**Редакционный совет**

С. Б. Васильев  
Г. Н. Колесников  
А. Н. Петров

**Редакционная коллегия**

М. И. Зайцева  
А. Ю. Борисов  
Т. А. Гаврилов  
А. Ф. Кривоноженко  
Е. И. Соколова  
Л. А. Девятникова  
Ю. В. Никонова  
Е. О. Графова  
А. А. Кузьменков  
Р. В. Воронов  
М. И. Раковская

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
А. А. Чалкин  
Э. М. Осипов  
Е. П. Копалева

**ISSN 2500-140X**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: [saf@petrsu.ru](mailto:saf@petrsu.ru)

<http://saf.petrso.ru>

УДК 621.31

Техника и технологии строительства

## Преимущества перехода от солнечных панелей к солнечной черепице

**БЫКОВА**

*СПбПУ, y.b.v.9464@gmail.com*

**Юлия Викторовна**

**БАЖЕНОВА**

*СПбПУ, eebofficial@gmail.com*

**Екатерина Евгеньевна**

### Ключевые слова:

энергоэффективность; солнечная энергия; солнечная черепица; электроснабжение

### Аннотация:

В процессе модернизации энергоэффективных технологий привычные солнечные панели в скором времени может заменить солнечная черепица. Несмотря на очевидные преимущества, черепица еще не обладает должной конкурентоспособностью и используется редко. В данной работе представлено сравнение обычных солнечных панелей с черепицей, рассмотрена возможность их применения в климатических условиях южной части России.

### Основной текст

#### Введение

Солнечная черепица давно появилась на рынке энергоэффективного оборудования. Данная технология в настоящее время внедрена в производство многими европейскими компаниями, в России также нет проблем с приобретением и установкой такой черепицы. Солнечная черепица уже сейчас является достойной заменой солнечной батареи – более низкая цена, большая выработка, одновременное устройство кровли. Современные разработки российских ученых тем временем позволили получить черепицу, не уступающую по эффективности зарубежным аналогам, но в 3-4 раза дешевле. Однако солнечную кровлю всё еще сложно встретить, даже в самых южных регионах страны.

В данной работе рассмотрены достоинства и недостатки новой технологии. Рассчитана экономическая эффективность устройства солнечной кровли для г.Сочи.

#### Обзор литературы

Первые прототипы солнечных панелей были созданы в середине прошлого века, и сейчас стали неотъемлемой частью современного строительства. В богатых солнцем регионах подобные батареи могут не только возмещать часть потребления электроэнергии, но и полностью обеспечить автономное существование дома [1-3]. Солнечная энергия используется для энергопотребления не только в строительстве, но и для космических аппаратов, дорожного покрытия, наземного транспорта, автомобилей и плавательных судов. Такое широкое использование требует постоянного совершенствования технологии. Так, в 2005 г. впервые была представлена фотогальваническая черепица Powerhouse, в 2007 г. зарегистрирован патент на черепицу для крыши, выступающей в роли солнечной батареи и производящей с помощью солнечной энергии и фотогальванического способа горячую воду и электрическую энергию [4], в 2009 г. - устройство энергоснабжения с помощью энергетических панелей, выполненных в виде кровельной черепицы [5]. Новые разработки позволили солнечной черепице превратиться из дорогостоящей новинки в доступную всем замену привычных солнечных батарей [6-7]. Однако, данная технология все еще не получила широкого распространения, а

статьи о разработках в данной сфере встречаются в научной литературе редко.

#### **Цели и задачи исследования**

Целью данной работы является анализ эффективности замены солнечных панелей солнечной черепицей.

Для этого решались следующие задачи:

- × изучение понятия солнечной черепицы, анализ достоинств и недостатков;
- × обзор современных технологий в отрасли;
- × расчет экономической эффективности установки солнечной черепицы.

#### **Описание исследования**

##### **Понятие солнечной черепицы**

Солнечная черепица представляет собой соединение функций привычной солнечной батареи и надежного кровельного покрытия. Черепица выполнена из листов битумного материала, на который крепятся фотогальванические элементы, состоящие из гальванических ячеек – рис. 1.



**Рисунок 1.** Солнечная кровля

Каждая ячейка соединена диодами, а уже к листам выведен общий кабель, который на стыке пломбируется специальными накладками. Лицевая сторона солнечной черепицы покрыта защитным слоем из полимерных веществ, который бережет изделие от негативной внешней среды [8]. Солнечная черепица, так же как и батареи, может быть установлена как по всей площади крыши, так и в сочетании с обычной кровлей.

Полученное электричество может быть использовано в общей электросети или автономно, а также накапливаться для последующего использования.

Рассмотрим основные достоинства солнечной черепицы:

- × легкость и гибкость - возможность монтажа практически на любой кровле, не нуждается в дополнительных укреплениях;
- × прочность и высокая устойчивость к любым погодным явлениям, возможность выхода на кровлю;
- × внешний вид сочетается с обычной кровельной черепицей;
- × не отражает свет, не создает бликов
- × высокая эффективность, выработка энергии даже при плохих погодных условиях;
- × долгий срок эксплуатации;
- × более низкая цена по сравнению с солнечными батареями.

К очевидному недостатку солнечной черепицы по сравнению с привычными панелями относится невозможность монтажа уже на существующей кровле – обязательна замена. Также солнечная черепица не может быть повернута на более эффективный угол, как солнечные панели.

Несмотря на существующие недостатки, проектировщики настаивают на высокой эффективности новой технологии. А последние разработки позволяют значительно повысить конкурентоспособность черепицы на рынке.

Так компания Tesla в октябре 2016 г. представила свой новый проект - Tesla Solar Roof, который, по сообщению производителя, будет дешевле традиционной крыши уже на этапе установки, без учета выработки электроэнергии.

Четыре вида солнечной черепицы, представленной компанией Tesla, показаны на рис.2



**Рисунок 2.** Солнечная черепица Tesla Solar Roof

Как видно из рисунка, представленная черепица неотличима от стандартного покрытия кровли и ничем не портит внешний облик здания. Tesla Solar состоит из нескольких слоев. Самый нижний представляет собой высокоэффективную солнечную панель. Средний слой — маскирующее стекло, внешний слой — закаленное защитное стекло.

Сама технология производства и характеристики компанией не раскрываются. Однако производители утверждают, что их солнечные панели практически не теряют эффективности при нагреве во время работы или в жаркий день. При этом в компании утверждают, что установка Tesla Solar и экономия на расходах на электроэнергию обойдутся дешевле, чем установка обычной солнечной энергетической системы [9]. В продажу солнечная черепица Tesla поступит летом 2017 г.

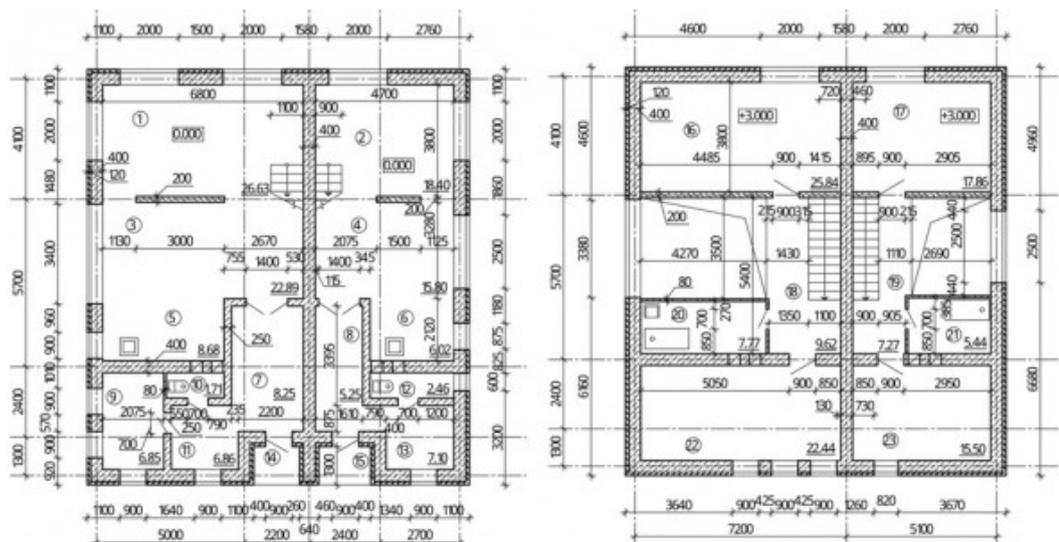
***Экономическая эффективность устройства солнечной черепицы***

Экономическую эффективность установки черепицы, доступной в продаже уже сегодня, рассмотрим на примере жилого блокированного двухэтажного дома на две семьи (рис. 3). Город строительства – Сочи.

Планы представлены на рис. 4.



**Рисунок 3.** Модель жилого дома



**Рисунок 4.** Планы 1 и 2 этажей жилого дома

*Расчет потребляемой электроэнергии.* Нормы освещения были приняты минимальными по Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" [10-11]. Наглядный расчет для нескольких помещений приведен в таблице 1.

**Таблица 1.** Расчет потребляемой электроэнергии на освещение

№	Помещ.	Норма освещ, Лк/м <sup>2</sup>	Площадь, м <sup>2</sup>	Норма, Лм	Лампа люминесцентная			t <sub>работы</sub> , ч/сут
					P, Вт	Свет. поток, Лм	P <sub>общ</sub> , Вт	
1	гостиная	150	26.63	3995	20	1200	4 80	7 0.14
2	гостиная	150	18.4	2760	12	630	5 60	7 0.084
3	столовая	150	22.89	3434	15	900	4 60	2 0.03
4	столовая	150	15.8	2370	12	630	4 48	2 0.024
5	кухня	150	8.68	1302	15	900	2 30	3 0.045

Расчет потребляемой на бытовые нужды электроэнергии проводился с учетом среднего необходимого набора бытовых электроприборов [12-13]. С учетом того, что солнечные панели не являются бесперебойным источником питания, в расчете не учитывались приборы, требующие постоянного поступления электроэнергии, предполагается, что эти приборы питаются от городской электросети. Результаты расчета представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Расчет потребляемой бытовыми приборами электроэнергии

Бытовые электроприборы	P, Вт	Кол-во	P <sub>общ</sub> , Вт	t <sub>работы</sub> , ч/сут	кВт*ч/сут
Чайник	2300	2	4600	0.4	1.84
Микроволновка	1000	2	2000	0.5	1
Вытяжка	300	2	600	0.5	0.3
Посудомоечная машина	1200	2	2400	0.5	1.2
Духовой шкаф	1200	2	2400	1	2.4
Стиральная машина	2000	1	2000	1	2
Телевизор	300	2	600	3	1.8
Ноутбук	100	5	600	8	4.8

Таким образом, суммарное электропотребление составляет **16.18 кВт\*ч/сут.** С учетом повышающего коэффициента 1.15, учитывающего работу при пиковых нагрузках, и коэффициента одновременного использования 0.5, учитывающего то, что все приборы не будут использоваться одновременно, значение электропотребления составит - **9.3 кВт\*ч/сут.**

Стоимость электроэнергии в 2017 году для Краснодарского края принята 4.28 руб/кВт\*ч за первое полугодие и 4.44 руб/кВт\*ч за второе. Соответственно, стоимость электроэнергии за год составит **28650**

**руб** [14].

Выбор *солнечных панелей* зависит от возможностей Солнца в районе их установки. Согласно рекомендациям [15] наклон панели следует принимать на 15 градусов больше географической широты, для Сочи этот показатель составляет 60°.

Из этого выработка панели рассчитывается по значению месячная инсоляция квадратного метра – формула 1.

$$E_{сп} = E_{инс} * P_{сп} / P_{инс} * k$$

где  $E_{сп}$  — выработка энергии солнечной батареей;

$E_{инс}$  — месячная инсоляция квадратного метра (из таблицы инсоляции);

$P_{сп}$  — номинальная мощность солнечной батареи;

$k$  - коэффициент потерь на заряд - разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное, обычно принимают равным 1.2-1.4;

$P_{инс}$  — максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности.

Для расчета были приняты панели производителя Renesola (Китай) с номинальной мощностью 300 Вт. Площадь одной панели 1.94 м<sup>2</sup>, стоимость 19734 р. [16].

Расчет *солнечной черепицы* производится на примере продукции ИННОВАТИКС [17]. Стоимость одного элемента черепицы площадью 1.1 м<sup>2</sup> составляет 4285 р. В рассматриваемом здании крыша спроектирована под углом 35° к горизонту, поэтому используем значения инсоляции для 35°. Процесс расчета сходен с расчетом солнечных батарей. При таком угле наклона среднегодовая и летняя инсоляция, а соответственно и выработка будут больше, чем при 60°. Однако, расчеты выполняются для наиболее неблагоприятных условий.

Сводные результаты расчетов представлены в таблице 3.

**Таблица 3.** Расчет эффективности солнечных панелей и солнечной черепицы

месяц	Январь	Июль	среднегодовое значение
<b>Солнечные панели</b>			
$E_{сп}$ , кВт*ч/м <sup>2</sup> в сутки	0.4	0.96	0.73
Необходимое число и площадь панелей			
Количество, шт	24	10	13
Площадь, м <sup>2</sup>	46.56	19.4	25.22
<b>Солнечная черепица</b>			
$E_{сп}$ , кВт*ч/м <sup>2</sup> в сутки	0.122	0.393	0.265
Необходимое число и площадь панелей			
Количество, шт	77	24	35
Площадь, м <sup>2</sup>	77.7	26.4	38.5

Если подбирать солнечные панели из расчета возможности обеспечения энергией даже в самый холодный и пасмурный месяц, то стоимость батареи из 24 панелей составит 473.6 тыс.руб., а срок окупаемости составит 16.5 лет. Однако даже это не гарантирует постоянного энергообеспечения, т.к. предварительный расчет не учитывает облачных дней, аномальных погодных условий, когда выработка может резко повыситься или понизиться, а также особенностей размещения панелей.

Чтобы обеспечить необходимую выработку в январе, солнечной черепицы потребуется 77.7 м<sup>2</sup>, что обойдется примерно в 333 тыс.руб. Срок окупаемости снизится до 11.6 лет.

Таким образом, видно очевидное экономическое преимущество установки солнечной черепицы – экономия 140.6 тыс. руб., а также сокращение срока окупаемости почти на 4 года. Учитывая указанные в начале работы преимущества, солнечная черепица может быть не только поставлена в один ряд с солнечными панелями, но и стать ее заменой на рынке энергосберегающего оборудования.

**Выводы:**

- × Солнечная черепица обладает рядом достойных преимуществ перед солнечными панелями, такими как меньшая стоимость, эффективность, эстетичность и лёгкость монтажа;
- × Для некоторых регионов России, в частности для южных, солнечная черепица может стать хорошей альтернативой традиционно применяемым солнечным панелям;
- × Экономическая эффективность панелей и черепицы зависит от угла установки, поэтому для разных проектов выгода будет различна, однако, если предусмотреть кровлю со встроенной солнечной черепицей уже на этапе проектирования, можно добиться максимально возможной в данных условиях эффективности.

**Список литературы**

1. Грабовецкая К. А., Жиленко Д. М., Макаренко В. А., Рогозина Д. А., Хворова Т. С., Артамонова Е. Ю. Обзор солнечных панелей для систем автономного питания// Молодой Ученый, 22-3 (126), 2016, 29-32 сс.
2. Ербаева Н.Б., Файзуллин Р.Р., Садырин А.В., Ербаев Е.Т., Лошкарев И.Ю., Лошкарев В.И. Автономная система электроснабжения с помощью солнечных панелей для электрического освещения территории университета// Актуальные Проблемы Энергетики АПК. Статья в сборнике трудов конференции, 2016, 57-62 сс.
3. Сапожникова М.А. Использование солнечных панелей для обеспечения энергией автономного поселка в различных субъектах РФ// VI Всероссийский Фестиваль Науки. Статья в сборнике трудов конференции, 2016, 344-347 сс.
4. Де Нардис Маурицио Черепица для крыши, выступающей в роли солнечной батареи, производящая с помощью солнечной энергии и фотогальванического способа горячую воду и электрическую энергию. Патент на изобретение, номер патента: 2457579, 2012.
5. Бири Мартин Устройство энергоснабжения с энергетическими панелями, выполненными в виде кровельной черепицы. Патент на изобретение, номер патента: 2464670, 2012.
6. Стребков Д.С., Панченко В.А., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И. Разработка кровельной солнечной панели// Вестник ВИЭСХ, 4 (21), 2015, 106-110 сс.
7. Strebkov D., Panchenko V., Irodionov A., Kirsanov A. The development of roof solar panels// Research in Agricultural Electric Engineering, 4, 2015, 123-126 сс.
8. Фотогальваническая или солнечная черепица [Электронный ресурс]. URL: <http://nastroike.com/stroitelnye-materialy/683-fotogalvanicheskaya-ili-solnechnaya-cherepitsa/> (Дата обращения: 29.04.2017).
9. Tesla превратила солнечные панели в черепицу [Электронный ресурс]. URL: <https://nplus1.ru/news/2016/10/29/tiles/> (Дата обращения: 29.04.2017).
10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" (введен в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 08.04.2003 № 34).
11. Паламаренко С. И. Люминесцентные лампы и их характеристики (Часть1) [Электронный ресурс]. URL: <http://сhem.net/sprav/sprav115.php> (Дата обращения: 23.04.2017).
12. Расчет потребляемой мощности дома. Получение представления о мощности потребляемой электроэнергии: советы по расчету [Электронный ресурс]. URL: <http://www-group.ru/stati/raschet-moschnosti.html> (Дата обращения: 23.04.2017).
13. Электрическая мощность дома [Электронный ресурс]. URL: <http://www.4living.ru/items/article/necessary-electrical-power/> (Дата обращения: 23.04.2017).
14. Тарифы на электроэнергию в Краснодарском крае и Адыгее 2017 [Электронный ресурс]. URL: [https://gkh-konsultant.ru/sprav/energосnabzheni/tarifi\\_na\\_elektoenergiyu\\_v\\_2017\\_godu/tarifi\\_na\\_elektoenergiyu\\_v\\_Krasnodarskom\\_krae\\_2017//](https://gkh-konsultant.ru/sprav/energосnabzheni/tarifi_na_elektoenergiyu_v_2017_godu/tarifi_na_elektoenergiyu_v_Krasnodarskom_krae_2017//) (Дата обращения: 23.04.2017).
15. Подбор и расчёт системы на солнечных батареях [Электронный ресурс]. URL: <http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm//> (Дата обращения: 23.04.2017).
16. Автономные решения. Солнечная батарея 300 Вт RENESOLA VIRTUS II [Электронный ресурс]. URL: [http://autonomno.ru/shop/avtonomnoe\\_elektrοsnabzhenie/komponenty/solnechnye\\_batarei/300\\_vt\\_renesola\\_virtusii/](http://autonomno.ru/shop/avtonomnoe_elektrοsnabzhenie/komponenty/solnechnye_batarei/300_vt_renesola_virtusii/) (Дата обращения: 23.04.2017).
17. ИННОВАТИКС. Кровельная черепица с фотоэлементами [Электронный ресурс]. URL: <http://innovatiks.ru/product/tserepitsa-detail> (Дата обращения: 29.04.2017).

## Advantages of a transition from solar panels to solar roof tile

**BYKOVA**  
Iuliia

*SPbPU, y.b.v.9464@gmail.com*

**BAZHENOVA**  
Ekaterina

*SPbPU, eebofficial@gmail.com*

### Keywords:

energy efficiency; solar power; solar roof tile; electricity supply system

### Annotation:

During the process of modernization of energy-efficient technologies solar panels, commonly used nowadays, may be soon replaced by solar roof tiles. Despite the obvious advantages of the tile, it is not sufficiently competitive still and rarely used. This paper presents a comparison of usual solar panels and tiles, and reviews the possibility of its use under the climatic conditions of southern regions of Russia.