

УДК 620.9(075.8)

## ДОРОГИ, ВЫРАБАТЫВАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О.А.

Идея создать Солнечную Дорогу (SolarRoadway) пришла инженерам Джули и Скотту Брюсау, когда весь мир всерьез обеспокоился проблемой глобального потепления. Концепция заключается в том, чтобы заменить асфальт и бетон на дорогах модульными панелями, обладающими функциями солнечных батарей, координаторов движения и прочими полезностями.

Солнечная батарея – несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. Конструктивно фотоэлектрический солнечный модуль представляет собой электрически соединенные между собой фотоэлементы, имеющие выходные клеммы для подключения нагрузок. Каждый фотоэлемент содержит в себе 2 полупроводниковых слоя: положительный и отрицательный. На один слой кремния наносится определенное вещество, благодаря которому появляется избыток электронов. Так образуется отрицательно заряженный n-слой. На другом слое создается недостаток электронов, и он становится положительно заряженным (p-слой). В комбинации с проводниками эти n- и p-поверхности образуют светочувствительный электронно-дырочный переход. При попадании фотона света на фотоэлемент, создается электродвижущая сила, создающая во внешнем контуре направленное движение электронов. Сила тока пропорциональна световой энергии (количеству фотонов) и размеру солнечного элемента.

Сейчас фотоэлементы изготавливают из самых различных материалов, используя широкий набор технологий и подходов к производству. Однако, принцип их работы, основанный на использовании фотогальванического эффекта – повышении разности потенциалов в полупроводнике с n-p переходом под воздействием квантов солнечного света, – остается единым. Правильно смонтированная солнечная батарея будет надежным и экологичным источником энергии в течение долгих лет.

Фотоэлементы можно разделить на две основные группы: кристаллические кремниевые и тонкопленочные. Кристаллические кремниевые фотоэлементы состоят из двух слоев: внутреннего, изготавливаемого из сверхчистого кристаллического кремния, и внешнего – из «загрязненного» кремния, получаемого путем добавления к основному материалу определенного количества примесей, например, фосфора. Верхний слой p-n перехода, который обладает избытком электронов, соединен с металлическими пластинами, выполняющими роль положительного электрода, пропускающими свет и придающими элементу дополнительную жесткость. Нижний слой в конструкции солнечной батареи имеет недостаток электронов и к нему приклеена сплошная металлическая пластина, выполняющая функцию отрицательного электрода.

Технология, по которой изготовлена солнечная батарея, влияет на её КПД. Считается, что в идеале солнечная батарея имеет близкий к 20% КПД. Однако, на практике и по данным специалистов он примерно равен всего 10%. При этом для некоторых солнечных батарей их КПД больше, для иных – меньше. В основном это зависит от технологии, по которой выполнен p-n переход. Самыми ходовыми и имеющими наибольший КПД продолжают являться солнечные батареи, изготовленные на основе монокристалла или поликристалла кремния. Причем вторые из-за относительной дешевизны становятся все распространеннее. К какому типу конструкции относится солнечная батарея, можно определить невооруженным глазом. Монокристаллические светопреобразователи имеют исключительно чёрно-серый цвет, а модели на основе поликристалла кремния выделяет синяя поверхность. Поликристаллические солнечные батареи, изготавливаемые методом литья, оказались более

дешевыми в производстве. Однако и у поли-, и у монокристаллических пластин есть один недостаток — конструкции солнечных батарей на их основе не обладают гибкостью.

Ситуация изменилась с появлением в 1975 году солнечной батареи на основе аморфного кремния, активный элемент которых имеет толщину от 0,5 до 1 мкм, обеспечивая им гибкость. Толщина обычных кремниевых элементов достигает 300 мкм. Однако, несмотря на светопоглощаемость аморфного кремния, которая примерно в 20 раз выше, чем у обычного, эффективность солнечных батарей такого типа не превышает 12%. Для моно- и поликристаллических вариантов он может достигать 17% и 15%, соответственно.

Мощность потока солнечного излучения на входе в атмосферу Земли составляет около 1366 Вт/м<sup>2</sup>. В то же время, удельная мощность солнечного излучения в Европе в очень облачную погоду даже днём может быть менее 100 Вт/м<sup>2</sup>. С помощью распространённых промышленно производимых солнечных батарей можно преобразовать эту энергию в электричество с эффективностью 9...24%. При этом цена батареи составит около 1...3 долларов за Ватт номинальной мощности. При промышленной генерации электричества с помощью фотоэлементов цена за кВт·ч составит 0,25 доллара. По мнению Европейской Ассоциации Фотовольтаики (EPIA), к 2020 году стоимость электроэнергии, вырабатываемой «солнечными» системами, снизится до уровня менее 0,10 € за кВт·ч для промышленных установок и менее 0,15 € за кВт·ч для установок в жилых зданиях [1].

У предпринимателей Скотта и Джулии Брушоу родилась потрясающая идея о том, чтобы все дорожное покрытие могло производить электроэнергию с помощью солнца. Супруги Брушоу при поддержке Министерства транспорта США и краудфандингового веб-сайта Indiegogo спроектировали футуристические шоссе. Их солнечные дороги – это сотовые конструкции из соединённых между собой шестиугольников с особой стеклянной поверхностью, выдерживающей нагрузки современных автомагистралей.

Каждая пластина состоит из четырёх слоев: верхний слой – переработанное стекло, под ним – светодиоды, третий – технологический слой и нижний – несущая конструкция, изготовленная из продуктов вторичной переработки. Панели выдерживают массу в 113 тонн и имеют форму шестиугольников, каждый из которых вырабатывает до 7,6 кВт·ч в день. Супруги Брюсау утверждают, что если покрыть такими солнечными панелями все дороги США, они будут вырабатывать в 3 раза больше энергии, чем потребляет все население Америки.

Эта солнечная дорога не только революционна в вопросах новых источников энергии, она так же умна, ибо состоит не только из фотоэлементов, но и из светодиодов и микросхем. Например, если в тёмное время суток на неё наступит человек, то он окажется подсвеченным снизу и за 200 метров от него по обе стороны на солнечной дороге высветится надпись «Снизить скорость, прямо по курсу пешеход».

Дорожная солнечная панель может быть также оснащена системой подогрева для защиты покрытия от снега и льда. В будущем электромобили смогут заряжать свои аккумуляторы, получая питание прямо с покрытия или на парковках, что сделает электрический транспорт более практичным. Панели могут стать основой «умной» дороги, которая сама будет следить за безопасностью движения, предотвращать образование пробок.

Преимущества Солнечной Дороги:

8. Энергоэффективность и возобновляемость энергии: панели работают по принципу солнечных батарей, превращая солнечный свет в электричество.
9. Дешевая электроэнергия: построенная Солнечная Дорога самокупаема, а затраты на ее обслуживание в разы меньше, чем обслуживание обычных дорог.
10. Безопасность на дорогах: панели определяют вес предмета, находящегося на их поверхности, и распознают машина это или человек (животное), переходящий дорогу. Затем панель передает сигнал о пешеходе другим модулям, дорога вокруг пешехода начинает светиться, предупреждая водителя.

11. Модульность: каждая панель оснащена системой оповещения о неполадках. Как только на ней появится малейшее повреждение, она тут же сообщит об этом в центр управления, а для ее замены потребуется всего один человек.
12. Очищение от снега: панели могут нагреваться, избавляясь от снега самостоятельно. Растаявшая вода стекает в резервуары сбоку дороги, а оттуда в стоки. Таким образом, дороги всегда расчищены, а лед на них образоваться не может.
13. Экологичность: панели изготовлены по большей мере из переработанного пластика, но их работа не несет вреда окружающей среде.
14. Минимальные потери вырабатываемой энергии: каждый участок Солнечной Дороги снабжает близлежащие дома или производства.

Безусловно, разработка достойна внимания. Однако дороговизна (7000 долларов за одну модульную панель) делает ее применение на практике нерациональной в рамках строительства небольших масштабов. Для таких проектов существуют более применяемые и эргономичные технологии, например, солнечные накопители.

В Нидерландах появилась первая в мире велосипедная дорожка из солнечных панелей. В ходе строительных работ был открыт 70-метровый участок дороги, являющейся частью проекта SolaRoad по созданию энергопродуцирующих дорог общего пользования. В 2016 году протяженность солнечной велодорожки увеличилась еще на 100 метров. Полученной таким способом энергии хватит, чтобы обеспечить электричеством три жилых дома поблизости.

Велодорожка состоит из бетонных плит со встроенными солнечными модулями с высокопрочным покрытием из стекла. На производительность дороги влияют такие факторы, как угол падения солнечных лучей, грязь и пыль. Разработчики говорят, что дорожный модуль производит на 30% меньше электричества, чем аналогичный на крыше здания. Тем не менее, смысл в таких солнечных установках есть – они дополняют уже существующие дорожные сооружения. По оценкам компании, солнечные дороги способны окупить себя за 20 лет.

Правительство Франции одобрило проект по покрытию дорог общего пользования солнечными батареями – в ближайшие 5 лет в стране будет построено 1000 километров полотна из прочных фотоэлектрических панелей. Разработка проекта велась на протяжении нескольких последних лет по инициативе Национального института солнечной энергии. Многие эксперты отнеслись к идее скептически (вопросы были к стоимости, безопасности и малой эффективности по сравнению с батареями на более открытых участках), но все же проект был одобрен.

Дороги будут строиться из панелей Wattway – с укрепленной конструкцией и 15-сантиметровыми фотоэлектрическими блоками из тонкой пленки поликристаллического кремния на покрытой смолой подложке. Толщина Wattway составляет всего 7 мм. Разработчики уверяют, что сверхтонкие панели способны адаптироваться к температурной деформации дороги и, благодаря слоистой структуре, как минимум не уступают традиционным покрытиям в части сцепных свойств. Кроме того, первые испытания такого полотна показали абсолютное безразличие к массе машин и достаточную износостойкость. Делается все это ради обеспечения возобновляемыми источниками энергии около 5 млн. человек (что составляет 8% населения Франции). По расчетам, Солнечные Дороги будут заняты автомобилями всего около 10% времени, а 20 квадратных метров покрытия позволяют обеспечить электроэнергией один «средний» дом.

### Литература

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. Танака, С. Жилые дома с автономным солнечным теплоснабжением / С. Танака, Р. Суда, – Москва: Стройиздат, 1989. – 163 с.