

**М.В. МАРТИРОСЯН, А.А. ДРНОЯН, ДЖ.С. СЕВОЯН**

## **ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Изучено влияние метеорологических условий, а именно - высоких температур (жаркие дни), загрязнения воздуха, пасмурности, на эффективность солнечных панелей. Дается оценка эффективности работы солнечных панелей.

*Ключевые слова:* метеорологические условия, солнечные панели, эффективность.

**Введение.** В связи с увеличением потребления электроэнергии, а также ограниченности запасов обычных источников энергии — угля и нефти, возникает необходимость разработки и применения альтернативных источников энергии. Среди разнообразия экологически чистых источников энергии преобразование солнечного излучения в электричество представляется наиболее привлекательным и перспективным с точки зрения энергетических технологий будущего [1]. По мнению экспертов, эта отрасль, мировые темпы роста которой составляют 40...60% в год (рис. 1) .

Сегодня идёт много разговоров вокруг такого понятия, как коэффициент полезного действия (КПД) панелей. Это один из ключевых критериев при оценке эффективности работы солнечных панелей. Увеличение этого показателя является главной задачей на пути снижения затрат на преобразование солнечной энергии и расширения использования солнечных систем. Низкий КПД солнечных панелей является их основным недостатком. Квадратный метр современных фотоэлементов обеспечивает выработку 15...22% от мощности солнечного излучения, попадающего на него. И это при самых благоприятных условиях эксплуатации. В жизни благоприятные условия бывают не часто, на это большое влияние оказывают метеорологические условия [2]. В результате для обеспечения необходимого энергоснабжения требуется установка солнечных панелей, там где есть эти условия. В статье изучается влияние различных метеорологических условий на КПД солнечных панелей.

В области солнечной энергетики наиболее перспективными признаны солнечные фотоэлектрические станции с прямым преобразованием солнечного излучения в электроэнергию с помощью солнечных батарей. Современный рынок солнечных модулей предлагает солнечные батареи трех основных типов: кремниевые (монокристаллические mono-Si и поликристаллические poly-Si) и пленочные. Последние, правда, пока не получили широкого распространения для производства электричества в промышленных масштабах (имея ряд

преимуществ, по своей производительности они пока ощутимо уступают солнечным модулям, полученным на основе кремния). Так что выбор солнечных панелей – это фактически выбор между двумя наиболее популярными технологиями их изготовления: на основе моно- или поликристаллического Si. Принято считать, что монокристаллические образцы солнечных батарей имеют ряд преимуществ над их поликристаллическими (мультикристаллическими) аналогами, но также и отличаются по стоимости [3].



*Рис. 1. Пример фотовольтаической солнечной электростанции в открытой местности*

**Монокристаллические панели (рис. 2).** Понять, что перед вами монокристаллические солнечные панели, очень просто. Их поверхность составляет большое число квадратов, которые имеют срезанные уголки. Монокристаллы с такой формой получают в процессе изготовления, а объясняется это структурой кристаллической решетки кремния.

Из названия ясно, что при производстве используется один кремниевый кристалл. Чтобы его изготовить, запускают процесс выращивания из расплава, используя чистый кремний. В результате выходит кристаллический элемент в форме цилиндра, который в дальнейшем нарезают тонкими пластинками, и они получают форму срезанных квадратов. Такая форма позволяет предотвратить нерациональное использование полезных площадей. Монокристаллическая панель отличается однородным цветом и структурой. Это свидетельствует о высокой чистоте кремния (до 99,99%). Отдельные квадратные детали складывают в единую панель, окруженную по периметру оболочкой из пластика. После этого солнечный модуль готов к функционированию.

На сегодняшний день подавляющее большинство преобразователей непосредственно энергии солнечных лучей в электрическую энергию изготовлены из кремния. Батареи, изготовленные с применением в качестве основы

монокристаллического кремния, составили 95% рынка поставок монокристаллических солнечных панелей для использования в частном фонде. Для применения в фотоэнергетике используется кремний различной степени чистоты. Данный параметр характеризует упорядоченность молекул элемента в кристаллической решетке. Чем более упорядочена структура кремния, тем выше производительность устройств на его основе. Типы солнечных батарей в основном зависят именно от этого фактора.

Достижение высокой степени упорядоченности структуры кремния - дорогостоящий технологический процесс. Следовательно, степень чистоты кристалла кремния не всегда является определяющим фактором. Более значимые параметры при выборе солнечных батарей – это эффективность использования поверхности конструкции и пространства, общая экономическая эффективность.

**Достоинства монокристаллических солнечных панелей (рис.2):**

- высокая эффективность, объясняющаяся высокой структурированностью материала. Производительность таких конструкций составляет от 17 до 22%;
- снижение габаритных размеров конструкции для обеспечения заданного значения энергии в сравнении с аналогами при тех же остальных характеристиках;
- максимальная долговечность среди всех типов панелей. При грамотном использовании монокристаллические солнечные панели достаточно легко купить и установить раз за 25 лет.

**Недостатки монокристаллических солнечных батарей:**

- высокая стоимость монокристаллических солнечных панелей. Если цена - куда более определяющий фактор, чем долговечность и энергоэффективность, то разумнее остановить выбор на других типах панелей, в частности, поликристаллических;
- даже незначительная загрязненность панели или тень, закрывающая часть конструкции, могут стать причиной потери производительности всей цепочки. Для устранения данного недостатка целесообразно использовать микроинверторы, предназначенные для уравнивания характеристик работы всей цепи вследствие неравномерной освещенности.



*Рис. 2. Монокристаллическая солнечная панель*

**Поликристаллические панели (рис. 3).** Впервые поликристаллические модели солнечных панелей появились в далеком 1981 году. Они сделаны на основе мульткристаллического кремния без применения метода Чохральского (вытягивания монокристаллов вверх). После остывания плавный кремний принимает форму ячейки, в которую он заливается, а затем его нарезали на одинаковые пластинки. Такие солнечные панели гораздо проще и дешевле изготовить, нежели монокристаллические. Они чуть хуже работают при жаре, но этот негативный эффект незначительный. Производительность поликристаллических солнечных панелей обычно составляет 14...18%. Кроме того, для лучшего использования такие солнечные батареи целесообразнее использовать на больших площадях.

**Достоинства поликристаллических батарей:**

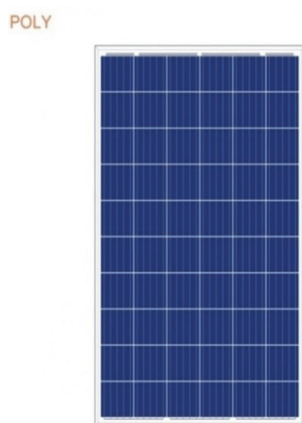
- общее снижение уровня затрат при производстве. В частности, значительно снижается количество получаемых отходов, что дополнительно снижает затраты на переработку и утилизацию;
- меньший процент брака при изготовлении.

**Недостатки монокристаллических солнечных батарей:**

- коэффициент полезного действия составляет от 14 до 18%, что примерно на 5% ниже показателей батарей из монокристаллов;

▪ эффективность использования пространства при установке поликристаллических солнечных батарей также ниже, чем у аналогов. Для получения тех же показателей энергетических характеристик требуется задействовать большую площадь;

▪ неоднородность внешнего вида конструкции. При использовании специальных просветляющих покрытий данный недостаток становится фактически незаметным.



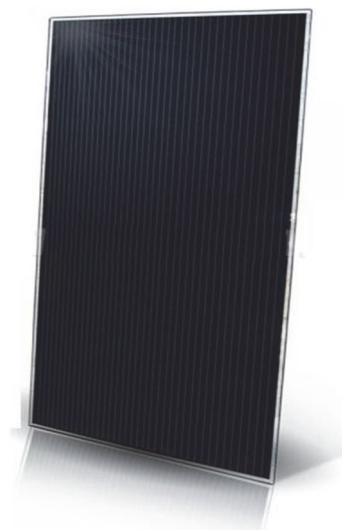
*Рис. 3. Поликристаллические солнечный панели*

**Аморфный и кристаллический кремний (рис. 4).** Аморфные солнечные панели обладают существенным отличием от моно- и поликристаллических. Оно заключается в том, что прямой поток света, исходящий от Солнца, таким батареям не требуется. Они прекрасно генерируют рассеянный свет, исходящий от светила, которое закрыто облаками. Благодаря гибкости, на них легко наносятся современные полупроводниковые элементы. Они могут эффективно работать в условиях сильной загазованности воздушной среды или на производстве, где воздух по тем или иным причинам перенасыщен аэрозольными веществами. Сейчас уже начинают совершенствоваться третье поколение таких панелей. Коротко обо всех трех можно рассказать таким образом:

Поколение №1 — солнечная батарея с одним переходом. Минус — срок работы не более десяти лет и низкая производительность с 5%-ым КПД.

Поколение №2 — также элементы с одним переходом, но срок работы стал вдвое больше — 20 лет, а КПД увеличился до 8%.

Поколение №3 — высокоэффективные тонкопленочные батареи с КПД до 12%. Могут работать еще более длительное время. Считается, что они имеют в перспективе очень большое будущее.



*Рис. 4. Аморфная солнечная панель*

Благодаря широким возможностям технологии, кремниевый слой напыляется и на жесткое, и на гибкое основания. Именно поэтому в тонкопленочных моделях напыление применяется чаще всего. Хотя стоят они, конечно, очень дорого. Аморфные солнечные батареи обладают удивительной способностью к поглощению неяркого, рассеянного светового потока. Они активно применяются в тех регионах, где преобладает прохладная и пасмурная погода. При высоких температурах они не теряют уровня своей производительности. Хотя панели из арсенида галлия по-прежнему их в этом превосходят.

**Достоинства аморфной солнечной панели:**

- тонкопленочные солнечные элементы из аморфного кремния намного лучше работают при изменении температуры на повышение;
- при слабом или рассеянном освещении панели из аморфного кремния генерируют до 20% больше энергии. Более выгодная стоимость за каждый ватт мощности;
- меньшие потери в мощности при пасмурной погоде.

**Загрязнение солнечных панелей (рис. 5).** Согласно исследованию индийских и американских ученых, смог и пыль, от которых каждый год заболевают миллионы жителей Индии, на 25% снижают эффективность солнечных электростанций. Это происходит из-за твердых частиц. Китай, Индия и Аравийский полуостров являются наиболее «пыльными» в мире. Даже если их панели очищаются ежемесячно, они все равно могут потерять от 17 до 25% производства солнечной энергии. И если очистка происходит каждые два месяца, потери составляют 25 или даже 35% [4].



*Рис. 5. Загрязнение солнечных панелей в Индии*

**Эффективность солнечных батарей в пасмурную погоду (рис. 6).** В пасмурную погоду гелиомодули способны вырабатывать электроэнергию. Тут дело лишь в том, насколько темно на улице. Ведь современные панели способны поглощать прямые лучи Солнца и рассеянный свет.



*Рис. 6. Солнечные батареи в пасмурную погоду*

Ясно, что КПД панелей снизится, но не настолько критично, как многим кажется. В зависимости от степени облачности, в среднем КПД солнечных батарей снижается на 10...25%. Отметим одну деталь, которую обязательно нужно учитывать при установке модулей. Крыша дома, где планируется монтаж гелиосистемы, не должна находиться в тени. Следует избавиться от всего, что дает эту тень: от лишних деревьев, построек, вышек и т.д., либо перенести установку на другое место. Это даст более эффективную работу всей миниэлектростанции.

Что касается осадков в виде дождя и снега, они также несколько снижают работу КПД солнечных панелей, но в целом глобально не влияют на работу солнечного модуля. Если идет дождь, но есть Солнце, панели будут стабильно накапливать солнечную энергию. При эксплуатации солнечных пане-

лей зимой важно грамотно произвести монтаж установки, правильно выставить наклон (не следует забывать, что зимой Солнце расположено несколько ниже, чем летом), а также регулярно производить очистку панелей от снега и наледи. В солнечную морозную погоду все современные панели показывают отличную производительность [5].

**Перегрев панелей (рис. 7).** Тестирование параметров солнечных панелей проводится при температуре 25°C, и обычно производители указывают их эффективность, принимая за норму 25°C. Температурный коэффициент солнечной панели -0,5%, это означает, что выход мощности снизится на 0,5% за каждый градус выше 25°C.

В жаркий солнечный летний день собственная температура солнечной батареи может подниматься до 60...70°C. В среднем при повышении температуры панели на 20 °C потери мощности составят порядка 10%. При работе станции по зеленому тарифу такое снижение мощности может обернуться потерями в объемах продажи электроэнергии.



*Рис. 7. Солнечные панели в яркую солнечную погоду*

**Заключение.** Для получения максимального КПД от солнечных панелей следует учитывать влияние метеорологических условий. Самые распространенные потери КПД бывают от: загрязнения солнечных панелей в пасмурную погоду и от перегрева панелей. Поскольку все эти проблемы зависят от конкретной задачи, то решение тоже является конкретным. При возникновении загрязнений нужно периодически организовывать очистку панелей во избежание потерь КПД. Чтобы избежать потерь КПД, связанных с пасмурной погодой, нужно досконально изучить установки панелей. Место установки нужно выбирать в зависимости от погодных условий этого региона. Чтобы избежать перегрева панелей, которые, в свою очередь, могут привести к потерям КПД на 10%, нужно во время проектирования поставить задачу хорошего охлаждения. Принимая во внимание эти факторы, можно получить конечный результат и, как следствие, повысить эффективность солнечных панелей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научно-исследовательская работа «СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ» Дисциплина «ФИЗИКА» ЧАО «ГАРМОНИЯ»
2. Как устанавливать и эксплуатировать солнечные батареи  
<http://elektrik.info/main/energy/874-kak-ustanavlivat-i-ekspluatirovat-solnechnye-batarei.html>
3. The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures
4. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution  
Publication Date: June 15, 2017 <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00197> Copyright 2017 American Chemical Society
5. **Гульков В.Н., Колесниченко И.Д., Коротков К.Е.** Исследование влияния температуры на эффективность преобразования солнечного излучения. –СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), 2019.

**Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԴՌՆՈՅԱՆ, Ջ.Ս. ՍԵՎՈՅԱՆ**

### **ՕԴԵՐԵՎՈՒԹԱՐԱՆԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՎԱՀԱՆԱԿՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

Ուսումնասիրվել է մի քանի օդերևութաբանական պայմանների ազդեցությունը արևային վահանակների արդյունավետության վրա, դրանք են՝ բարձր ջերմաստիճան (տաք օրեր), օդի աղտոտվածություն և ամպամածություն: Այս գործոնների վրա շեշտադրումը հնարավորություն է տալիս լավագույնս օգտագործել արեգակնային վահանակների տեսակները:

**Առանցքային բաներ.** օդերևութաբանական պայմաններ, արևային պանելներ, արդյունավետություն:

**M.V. MARTIROSYAN, A.A. DRNOYAN, J.S. SEVOYAN**

### **THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS**

The influence of several meteorological conditions namely, high temperatures (hot days), air pollution and cloudiness on the efficiency of solar panels has been studied. The operation efficiency of solar panels is estimated.

**Keywords:** meteorological conditions, solar panel, efficiency.