

Проанализировав представленную информацию можно сделать вывод о том, что для создания энергетической системы, которая может практически целиком состоять из возобновляемых источников энергии, потребуется новая объединенная архитектура энергосистем. Совокупность применяемых технологий будет соответствовать современным требованиям со стороны потребителей, а также обеспечивать надежность электроснабжения, экологичность и энергоэффективность. Технология интеллектуальных электрических сетей позволит снизить строительство новых генерирующих мощностей, результатом чего будет являться снижение капиталовложений и топливных затрат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / International Energy Agency. – Paris, 2014. – 238 с.
2. Симон, С., Филютич, И. и др. Энергетическая [р]еволуция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси // Фонд им. Г. Белля. – Минск: ООО «Типография «Плутос», 2018. – 124 с.
3. Левченко, С.А. Интеллектуальные энергетические сети (Smart Grids) в Беларуси: проблемы в построении «умных» сетей и варианты их решения [Электронный ресурс] /С.А. Левченко// Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. – Режим доступа: <http://www.scienceportal.org.by/upload/Levchenko27.06.2012.pdf>. – Дата доступа: 04.03.2020.
4. Короткевич, А.М., Колик, В.Р., Кулаковская, Е.В. Умные распределительные электрические сети 0,4–10(6) кВ в Белорусской энергосистеме – первый шаг // Энергетическая стратегия, 2011.–№ 5. – С. 27 – 29.
5. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «НТЦ электроэнергетики». – Режим доступа: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf). – Дата доступа: 03.03.2020.
6. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «НТЦ электроэнергетики». – Режим доступа: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691>. – Дата доступа: 03.03.2020.
7. European Commission, EUR 22040 — European Technology Platform Smart Grids / European Commission. – Luxembourg, 2006. – 44 с.
8. Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й международной научной конференции, 23–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редколлегия: С. А. Маскевич [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 300 с.

### ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

### TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF PHOTOVOLTAIC CELLS

*Л. А. Липницкий, Н. Д. Сирисько, А. А. Быкова, А. А. Бутько*  
*L. Lipnitski, N. Sirisko, A. Bykova, A. Butko*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
leonid-l@tut.by*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В данной работе были проведены исследования свойств и поведение фотоэлектрических систем. Также составлена зависимость напряжения фотоэлектрических элементов от температуры. Предложена система охлаждения фотоэлектрических панелей с целью повышения эффективности их работы.

In this work, we studied the properties and behavior of photovoltaic systems. Besides it was compiled the temperature dependence of the voltage of the photovoltaic cells. A cooling system for photovoltaic panels is proposed in order to increase their efficiency.

*Ключевые слова:* фотоэлектрические системы, температурные характеристики, фотоэлектрическая панель, параметры фотоэлектрических панелей, вольт-амперные характеристики, эффективность.

*Keywords:* photovoltaic systems, temperature characteristic, photovoltaic panel, temperature characteristic, parameters of photovoltaic panel, volt-ampere characteristic, efficiency.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-399-402>

Фотоэлектрические системы являются одним из многих видов возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ), которые используются в Республике Беларусь. Они находят существенное применение в области ВИЭ в виде преобразования солнечного излучения в электрическую энергию.

Фотоэлектрические системы становятся все более популярными из-за возросшего спроса на электроэнергию и, в то же время, имеют минимальное загрязнение окружающей среды. Солнечная энергия бесплатна и распространена в большинстве стран мира. Энергия, которую Земля получает от Солнца, настолько велика, что общее количество энергии, потребляемой во всем мире, эквивалентно энергии, излучаемой Солнцем в течение получаса. Солнце является чистым и возобновляемым источником энергии, который не производит вредных газов или токсичных отходов в результате его использования.

Солнечная батарея - устройство, непосредственно преобразующая энергию солнечного излучения в электрическую энергию. Устройство представляет собой несколько объединённых фотоэлементов, преобразующих энергию в постоянный электрический ток. Преобразование света в электроэнергию с помощью солнечных батарей оказалось эффективным способом иметь надёжный источник энергии.

Фотоэлектрический или солнечный элемент позволяет прямое преобразование солнечной энергии на электрическую энергию с помощью фотоэлектрического эффекта. Природа явления основана на воздействии света, который заставляет электрон вытесняться с орбиты фотоном солнечного света. Взаимодействие полупроводника и солнечного излучения приводит к поглощению фотонов и выпуску электронов.

Основой устройства является поверхность соприкосновения двух типов кремния, которые предусматривает конструкция фотоэлемента. Поскольку верхняя часть элемента прозрачна, солнечный свет без препятствий падает непосредственно на кремний. Положительный электрод сделан в виде ребер жесткости из металла, которые соединяют проводами. Отрицательный электрод представляет собой металлическую подложку, которая в свою очередь находится в контакте с кремниевыми пластинами фотоэлемента.

На сегодняшний день производство фотоэлементов практически полностью основано на кремнии (Si). Около 80% модулей производится с использованием поли- или монокристаллического кремния, а остальных 20% случаев используют аморфный кремний. Кристаллические фотоэлементы - наиболее распространены, обычно они имеют синий цвет с отблеском. Аморфные (некристаллические элементы) на вид гладкие и меняют цвет в зависимости от угла зрения. Монокристаллический кремний имеет наилучшую эффективность (около 14%), но он дороже, чем поликристаллический, эффективность которого в среднем составляет 11%. Аморфный кремний широко применяется в небольших приборах, таких как часы и калькуляторы, но эффективность и долгосрочная стабильность значительно ниже, поэтому он редко применяется в силовых установках. [3].

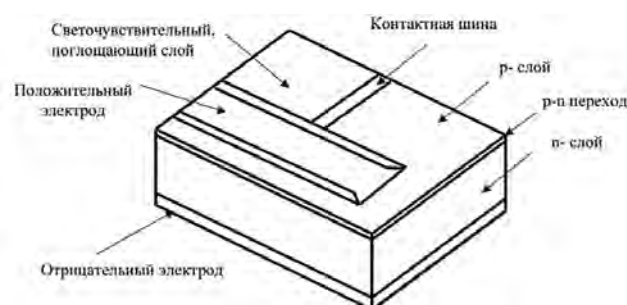


Рисунок 1 – Устройство кремниевого фотоэлектрического элемента [2]

Элемент солнечной батареи представляет собой пластинку кремния n-типа, окруженную тонким слоем кремния p-типа толщиной около одного микрона, с контактами для присоединения к внешней цепи (рис. 1).

Отрицательному полюсу источника тока соответствует n-слой, а p-слой – положительному.

Температура является основным фактором в работе фотоэлектрических элементов. С повышением температуры наблюдается небольшое увеличение тока короткого замыкания  $I_{кз}$  и значительное снижение величины напряжения холостого хода  $U_{xx}$ . Падение напряжения  $U_{xx}$  приводит к изменению величины напряжения  $U_{max}$  и сдвигу положения рабочей точки. В результате это отрицательно влияет на производительность и снижает эффективность устройства.

В жаркий день фотоэлектрический элемент нагревается до 70 – 80 градусов, и как следствие, потери производительности могут составить до 30% относительно нулевой температуры (таблица).

Таблица – Процентные изменения параметров в зависимости от температуры фотоэлектрической панели [1]

Параметр	Процентное изменение параметров при повышении температуры на 1°C [%/°C]
$I_{кз}$	+0,05
$U_{xx}$	-0,38
$R_{посл}$	+0,32
$R_{при}$	-0,70

Параметр тока короткого замыкания  $I_{кз}$  и последовательное сопротивление  $R_{посл}$  будут пропорционально увеличиваться при повышении температуры. Для остальных параметров, то есть напряжения  $U_{хх}$  разомкнутой цепи и параллельного сопротивления  $R_{прп}$ , с повышением температуры значения уменьшаются.

Полученные проявления различных температур могут быть продемонстрированы на вольт-амперной и рабочей характеристиках (рисунки 2 и 3).

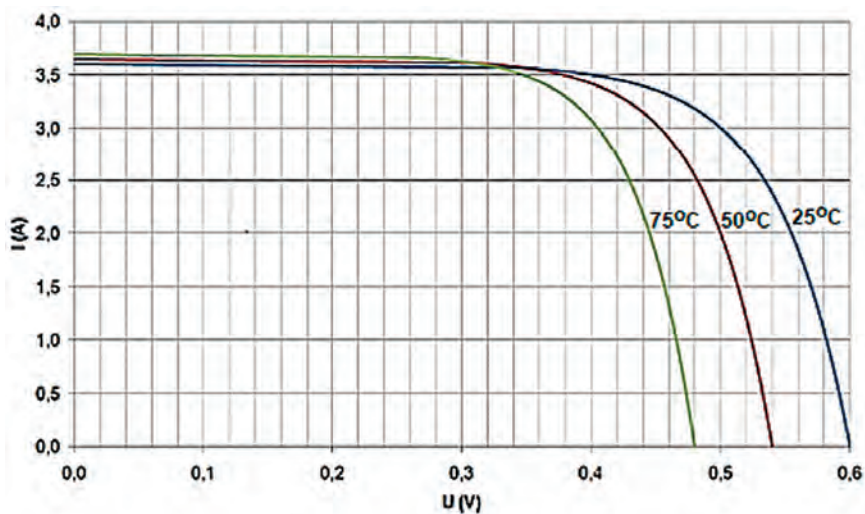


Рисунок 2 – Вольт-амперные характеристики фотоэлектрической панели для различных температур

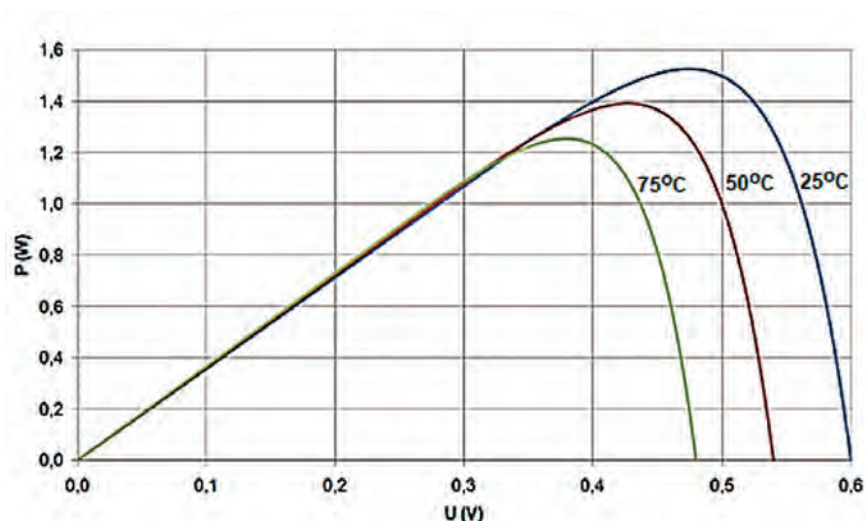


Рисунок 3 – Рабочие характеристики фотоэлектрической панели для различных температур[1]

Кроме снижения вольт-амперных показателей, высокая температура оказывает негативное влияние на герметизирующие материалы, что является основными факторами влияния на срок службы солнечных батарей. Соответственно панель, расположенная в холодных условиях, должна генерировать большую мощность и работать с большей эффективностью.

Для решения данной проблемы целесообразным будет использование системы охлаждения. Охлаждение фотоэлементов позволяет повысить коэффициент полезного действия и срок их эксплуатации. Для обеспечения снижения температуры солнечной батареи авторами было предложено система охлаждения батарей с использованием полива их холодной водой (рисунок 4). Для эффективной работы фотоэлектрической панели температура элементов не должна превышать 25-30° градусов Цельсия, поэтому целесообразно установить датчик температуры на поверхности панели, который будет передавать информацию в систему автоматизированного управления (далее—САУ). При повышении температуры панели более 30°C САУ включает систему охлаждения, и холодная вода через распределительную гребенку подается сверху на поверхность фотоэлектрической панели и внизу собирается. При охлаждении панели до температуры 20°C САУ отключает подачу холодной воды. Вода, применяемая для охлаждения панелей, после использования попадает через фильтр, где очищается от частиц пыли, оседающей на фотоэлектрических панелях, в бак-аккумулятор. Бак-аккумулятор имеет теплоизоляцию и позволяет сохранять теплую воду для ее дальнейшего использования в технологических нуждах (полив растений, система промышленного или бытового водоснабжения). При небольшом расходе воды для технологических нужд и ее

низкой температуре в баке-аккумуляторе возможна организация рециркуляции воды с возможностью подмешивания холодной воды из системы холодного водоснабжения.

Проведенный анализ показал целесообразность охлаждения фотоэлектрических панелей при высоких температурах с целью повышения отбираемой мощности. Предложенное техническое решение позволяет решать поставленную проблему, а также получать дополнительный источник энергии в виде саккумулированной теплой воды, которую можно использовать для технологических нужд.

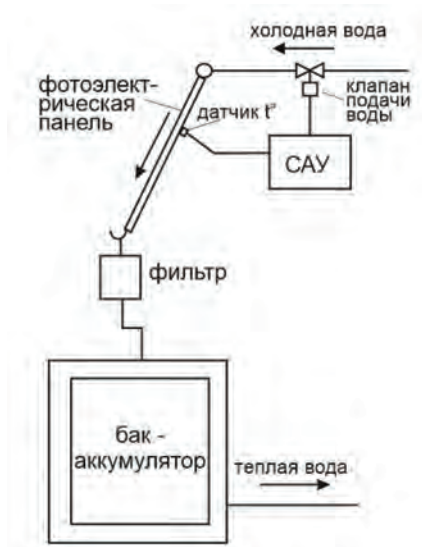


Рисунок 4 – Система охлаждения солнечной батареи

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bannert, P. Praktika z fotovoltaiky. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://is.muni.cz/el/1441/jaro2012/FY2BP\\_EkO/um/praktika\\_z\\_fotovoltaiky.pdf](http://is.muni.cz/el/1441/jaro2012/FY2BP_EkO/um/praktika_z_fotovoltaiky.pdf). – Дата доступа: 04.03.2020.
2. Температурный режим фотоэлементов солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://super-alternatiwa.narod.ru/photovoltaic.htm>. – Дата доступа: 04.03.2020.
3. Разработка солнечной фотоэлектрической системы автономного электроснабжения индивидуальных потребителей в тропических условиях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/1V2IeQOCXdqNwRFnw2f8QKEpυqaA78WPx/view>. – Дата доступа: 04.03.2020.

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF LED LIGHTING IN INDUSTRIAL GREENHOUSES

**Л. А. Липницкий, И. А. Курюхин, В. В. Сивуха**  
**L. Lipnitski, I. Kirukhin, V. Sivukha**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова,  
г. Минск, Республика Беларусь  
gloomyhit@gmail.com*

*The Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В промышленных теплицах используются различные виды систем освещения, которые оказывают влияние на рост растений, создавая различные спектры электромагнитного излучения. В публикации проведены сравнения различных источников света и рассмотрены преимущества и перспективы использования светодиодной системы освещения, ее влияние на рост и развитие растений в сравнении с другими системами освещения.

In industrial greenhouses, various types of lighting systems are used, which affect the growth of plants, creating various spectra of electromagnetic radiation. The publication compares various light sources and discusses the advantages and prospects of using a LED lighting system, its effect on the growth and development of plants in comparison with other lighting sources.