

УДК 621.311.61:656.25

**Кушпиль И. В.**

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

**Бут А. Н.**

ООО «UTEM SOLAR»

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

В статье рассмотрены основные аспекты применения солнечной энергии в качестве источника питания железнодорожной автоматики и телемеханики. Проведен анализ действующей нормативной базы по соответствующему вопросу. Описаны преимущества автономных питающих установок. В особую группу отнесены основные требования к электропитающим установкам и резервным источникам питания аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики. Произведен экономический расчет системы автономного энергоснабжения перегона на основе статистических данных по коэффициенту инсоляции территории Московского региона за последние 20 лет. Дана краткая характеристика основных проблем, которые могут возникать при вводе в эксплуатацию, обслуживании и использовании фотоэлектрических панелей на сети железных дорог ОАО «РЖД». Особое внимание уделено перспективам широкого внедрения солнечных установок применительно к устройствам сигнализации, централизации и блокировки.

электропитание устройств автоматики; возобновляемые источники энергии; фотоэффект; фотоэлектрические модули; солнечная электропитающая установка; коэффициент инсоляции; экономический расчет системы питания; резервный источник питания; энергетическая стратегия российских железных дорог

### **Введение**

Солнечная энергия приобретает популярность во многих странах, в том числе и потому, что цена фотоэлементов и преобразователей для них стремительно снижается, благодаря развитию новых технологий. Солнечная энергия вполне может конкурировать с энергией, получаемой из ископаемого топлива. В некоторых странах уже достигнут паритет, т. е. возобновляемые источники энергии генерируют электричество по ценам, равным или меньшим, чем традиционные источники энергии на ископаемом топливе.

В зонах, где прокладка традиционных электрических сетей затруднена, солнечный свет становится важным альтернативным источником энергии. Солнечная энергия является чистым, неиссякаемым (по человеческим масштабам) источником энергии и в недалеком будущем может стать одним из основных, так как ожидается топливный дефицит в традиционной энергетике.

Полупроводниковые фотоэлементы для преобразования световой энергии в электрическую стали широко применяться благодаря их использованию в космической аппаратуре. Со временем фотоэлементы нашли применение для решения энергообеспечения земных объектов – от бытовых до промышленных.

В основе работы фотоэлемента лежит вентильный фотоэффект – возникновение ЭДС при освещении структуры, состоящей из разнородных элементов. Составляющими такой структуры могут быть металл и полупроводник (контакт Шоттки); два полупроводника с различным типом проводимости (р-п-переход); два полупроводника, различных по химическому составу (гетероструктура).

В основе вентильного фотоэффекта лежат два фундаментальных явления – внутренний фотоэффект и пространственное разделение разноименных неравновесных носителей заряда.

Внутренний фотоэффект – это явление генерации неравновесных носителей заряда при облучении полупроводника электромагнитным излучением с энергией квантов, достаточной для такой генерации.

Максимальный КПД солнечных батарей возможен только в случае «собственной фотопроводимости», т. е. ситуации, когда при поглощении кванта света происходит переход электрона из валентной зоны в зону проводимости и появляется пара неравновесных носителей заряда – электрон и дырка.

Эти неравновесные носители заряда пространственно не разделены, и фотоЭДС не возникает, пока электрон и дырка не будут разнесены в пространстве. Данную функцию выполняет контакт между полупроводником и металлом (контакт Шоттки) или между полупроводниками (р-п-переход, гетероструктура) [1].

Из определенного набора фотоэлементов собираются фотоэлектрические модули (ФЭ-модули), имеющие вид панелей разной площади. Основными преимуществами использования ФЭ-модулей являются [2]:

- общедоступность и неисчерпаемость источника энергии;
- автономность функционирования;
- экологическая безопасность;
- длительный срок службы (более 25 лет);
- модульность (возможность масштабирования мощности);
- удобство транспортировки и монтажа.

## **1 Эксплуатационно-технические требования к альтернативным источникам тока для питания аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики**

Основным видом потребляемых энергоресурсов в ОАО «РЖД» все в большей степени становится электрическая энергия. При этом заметно снижаются доли потребления угля и мазута.

В соответствии с энергетической стратегией холдинга ОАО «РЖД» на перспективу до 2030 г. приоритетными задачами являются [3]:

- использование альтернативных возобновляемых энергоресурсов;
- использование достижений в области ветровой и солнечной энергии;
- создание мощностей собственной генерации энергии на нетяговые нужды;
- внедрение емких накопителей энергии и генерирующих установок.

Чтобы понять, каковы эксплуатационно-технические особенности применения ФЭ-модулей в качестве источников питания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), необходимо обратиться к действующей нормативной документации ОАО «РЖД».

Основные требования, предъявляемые к электропитанию устройств ЖАТ на сети российских железных дорог, следующие:

- устройства ЖАТ следует обеспечивать энергоснабжением от двух и более независимых источников (сетей);
- в качестве второго и третьего независимого источника могут быть использованы: независимое питание из общей сети энергоснабжения или специальные агрегаты, преобразователи, аккумуляторные батареи;
- переключение на резервный источник, а также обратное переключение должно происходить автоматически;
- электропитание устройств ЖАТ осуществляется постоянным током, переменным однофазным током, трехфазным током.

Номинальные напряжения в системе электропитания устройств ЖАТ должны соответствовать ряду напряжений [4, 5]:

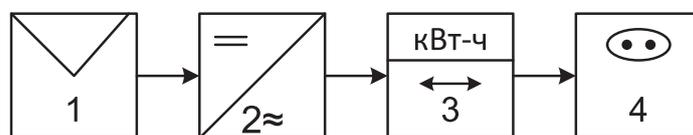
- номинальные напряжения постоянного тока (в вольтах):  $U = 5, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 120, 136, 220$ ;
- номинальные напряжения переменного однофазного тока (в вольтах):  $U = 12, 24, 55, 60, 110, 115, 130, 145, 220, 230$ ;
- номинальные напряжения трехфазного тока (фазовые/в вольтах):  $U = 115, 127, 220, 230, 380, 550, 1000$ .

В зависимости от назначения использования ФЭ-модулей – в качестве основной электропитающей установки (ЭПУ), соединенной с мощной промышленной сетью, или резервной автономной электростанции (РАЭС) небольшой мощности – технические требования, предъявляемые к устройствам электропитания ЖАТ, будут различными. В соответствии с СТО РЖД 08.025–2015, в качестве ЭПУ могут использоваться альтернативные источники тока с соответствующими преобразователями (рис. 1).

При разработке ЭПУ необходимо соблюдение следующих основных принципов [6–8]:

- масштабируемости (увеличения или уменьшения установленной мощности путем изменения количества компонентов без замены или ремонта эксплуатируемой части);

- однотипности оборудования для разных категорий станций с целью минимизации аварийно-восстановительного запаса;
- открытой архитектуры (использование компонентов разных производителей для исключения монополизации);
- адаптируемости (возможность применения на объектах с различными внешними фидерами);
- быстрого восстановления (время восстановления полностью исправного состояния после отказа силами персонала с квалификацией электромеханика – не более часа);
- горячей замены (замены отказавших блоков и узлов без прерывания электроснабжения потребителей);
- устойчивости к атмосферным и коммутационным перенапряжениям.



**Рис. 1.** Функциональная схема солнечной электропитающей установки:  
1 – ФЭ-модуль; 2 – инвертор; 3 – счетчик электроэнергии; 4 – мощная сеть

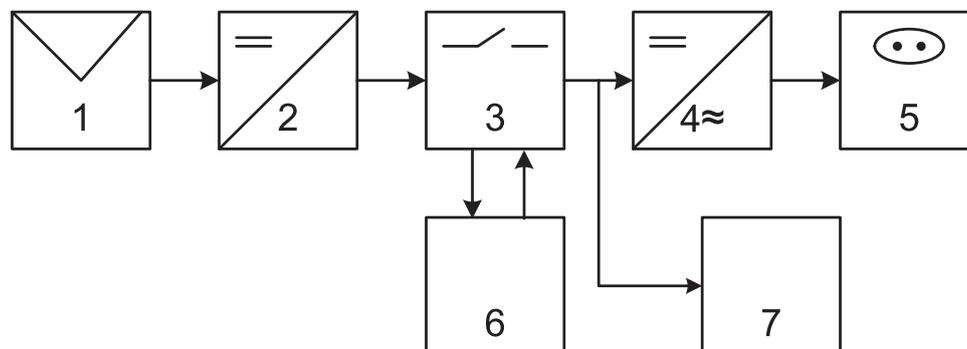
В экономически обоснованных случаях в качестве РАЭС могут применяться альтернативные источники энергии, использующие энергию солнечного излучения (рис. 2). При этом предъявляются следующие основные требования [9, 10]:

- в РАЭС должна быть предусмотрена возможность автоматического запуска;
- уровень автоматизации РАЭС должен соответствовать стабилизации выходных электрических параметров;
- изменение мощности нагрузки должно быть от 0,3 до 1 от номинальной;
- допустимое изменение частоты переменного тока  $\pm 1$  Гц;
- ресурс работы РАЭС до капитального ремонта должен быть не менее 20 000 часов, а средний срок службы до списания – не менее 20 лет;
- аккумуляторная емкость РАЭС рассчитывается на непрерывную работу при полной мощности нагрузки не менее 48 часов;
- РАЭС должна иметь внутреннюю систему диагностики.

С учетом вышесказанного, при вводе в эксплуатацию, обслуживании и использовании ФЭ-модулей в качестве источника питания аппаратуры ЖАТ возникает ряд проблем:

- необходимость доработки системы питания в соответствии со стандартами и требованиями нормативной документации ОАО «РЖД»;
- необходимость дополнительного оборудования (аккумуляторные батареи (АКБ), устройства бесперебойного питания, регулятор тока, контроллер заряда, инвертор);

- высокая стоимость и длительный срок окупаемости оборудования;
- наличие больших производственных площадей для размещения модулей, а также помещений для дополнительного оборудования.



**Рис. 2.** Функциональная схема РАЭС:

1 – ФЭ-модуль; 2 – устройство отбора мощности; 3 – регулятор зарядки-разрядки; 4 – инвертор; 5 – потребитель переменного тока; 6 – аккумуляторная батарея; 7 – потребитель постоянного тока

Основными недостатками ФЭ-модулей являются их низкий КПД (в среднем 15%), который с каждым годом эксплуатации уменьшается, и зависимость генерируемой мощности от времени года, времени суток, погодных условий и уровня инсоляции местности. Кроме того, перегрев модуля приводит к ухудшению его токовых показателей, что, в свою очередь, ведет к необходимости применения системы охлаждения.

В течение года угол падения солнечного света значительно меняется, поэтому необходимо корректировать наклон приемника. Это можно производить вручную или в автоматическом режиме с применением специальных устройств отслеживающих положение солнца, что вносит дополнительные расходы на содержание установки.

Одной из проблем, возникающей в процессе обслуживания, является необходимость в регулярной очистке ФЭ-модулей: в весенне-летний период – от пыли и птичьего помета, в осенне-зимний – от снега. Это ведет к созданию новых рабочих мест или распределению нагрузки на действующий персонал.

Выход из строя любого фотоэлемента может привести к падению генерируемой мощности всей питающей установки. На солнечных электростанциях, которые состоят из сотен ФЭ-модулей, тестирование всех фотоэлементов будет очень длительной и трудоемкой процедурой. Отсюда проблема разработки эффективных методов диагностики и быстрой замены (ремонта) неисправного элемента. Помимо этого, появляется необходимость подготовки квалифицированных кадров, специализирующихся на установке, обслуживании и ремонте ФЭ-модулей [2].

### 3 Экономический расчет системы энергоснабжения на базе фотоэлектрических модулей применительно к железнодорожному перегону

Устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи в большинстве случаев потребляют не очень большую мощность. Они обычно питаются от сети 10 кВ с использованием однофазных трансформаторов мощностью 630 ВА, 1,2 кВА и т. д. Устройства КТСМ, ДИСК и другие, применяемые для контроля букс вагонов, потребляют мощность не более 1 кВт. Небольшие железнодорожные станции также имеют незначительное энергопотребление (порядка 10 кВт) по сравнению с тяговыми мощностями. Питание магистральных линий связи тоже может быть осуществлено солнечной энергией, так как мощности их потребления – порядка 20 Вт. Все эти объекты могут получать питание от ФЭ-модулей. Они же могут служить и резервными источниками электропитания вместо дизель-генераторов [11].

В качестве образца приведем пример расчета системы автономного энергоснабжения объекта, где потребители питаются переменным током 220 В. Расчет произведен с привязкой к определенной местности, с учетом коэффициента инсоляции, без учета затрат на дополнительную доработку солнечной электропитающей установки в соответствии со стандартами и требованиями ОАО «РЖД» к электропитающим установкам и носит ознакомительный характер.

В соответствии с государственной программой «Импортозамещение в России до 2020 года» в расчетах используется оборудование отечественного производства. Исключением являются только АКБ, так как в настоящее время для них нет отечественных аналогов с необходимыми электрическими показателями.

Прежде всего, необходимо определить суммарную электрическую мощность всех потребителей, подключаемых одновременно. Пусть эта мощность составляет 630 Вт с частотой 50 Гц. Такая мощность необходима для энергообеспечения перегона [11]. Но эта нагрузка не постоянна, поэтому примем в расчет среднюю мощность потребления равной 400 Вт·ч. Значит, потребление в сутки рассчитывается как  $400 \cdot 24 = 9600$  Вт. Для удобства расчетов округляем до 10 000 Вт.

Из данных карты инсоляции России видно, что в зависимости от географического местоположения мощность вырабатываемой солнечной энергии изменяется. Расчет производительности солнечной установки выполним с помощью программы Photovoltaic Geographical Information System. Этот ресурс предоставляет средние данные по инсоляции местности, основываясь на статистике последних 20 лет, и находится в свободном доступе [12]. В качестве примера произведен расчет производительности солнечной установки для Московского региона (рис. 3).

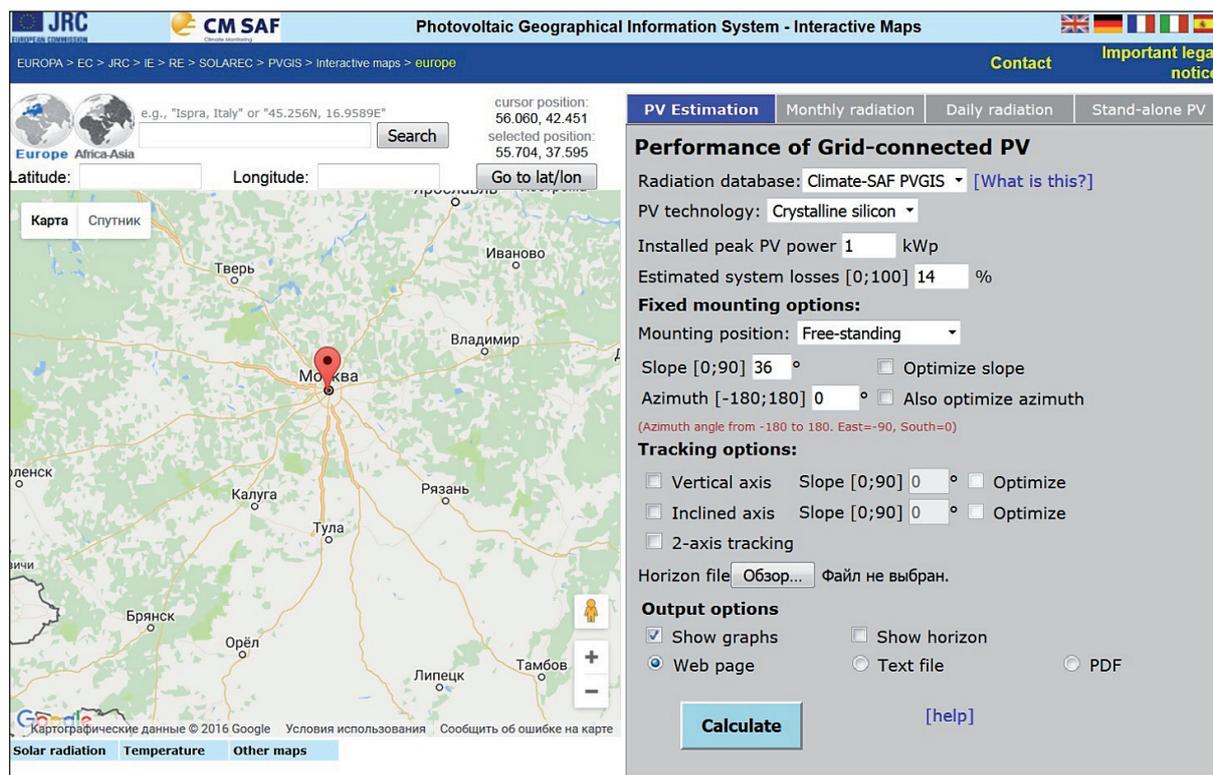


Рис. 3. Выбор исследуемого региона и ввод исходных данных для расчета

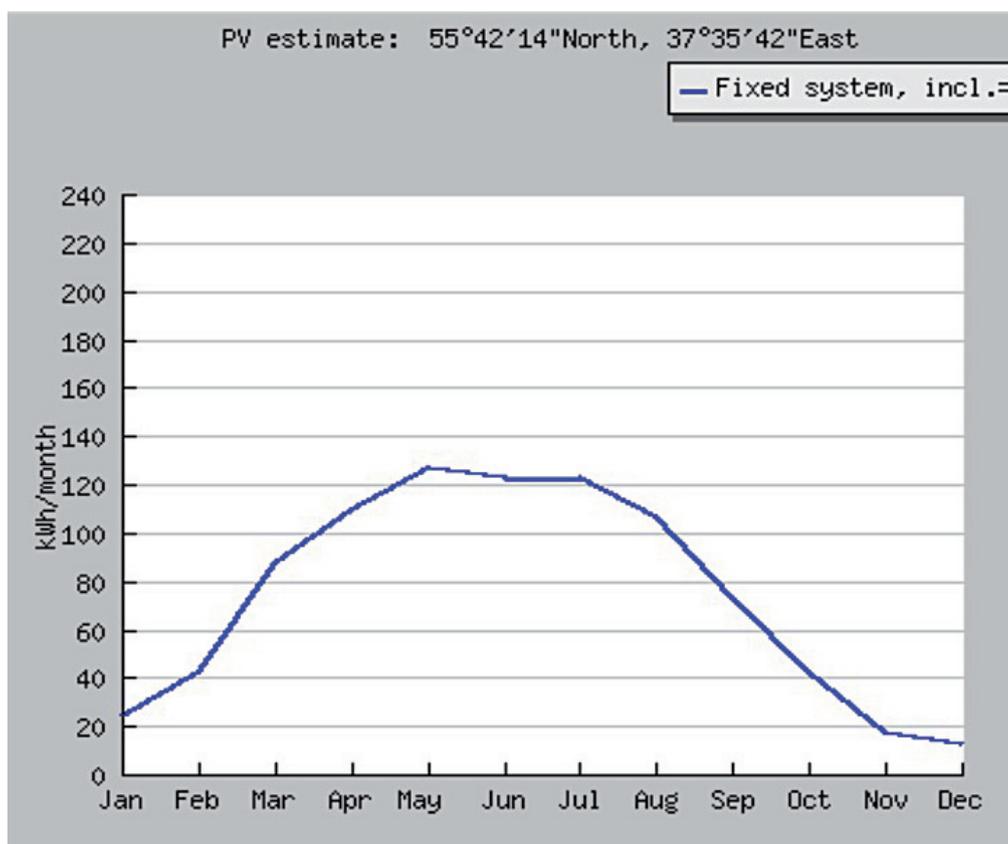
После расчетных операций программы получаем данные, представленные на рис. 4.

Из сводной статистики видно, что за год по московскому региону 1 кВт установленных ФЭ-модулей в среднем генерирует 2,43 кВт·ч электроэнергии в сутки. Максимум энергии приходится на май и июнь (4,10 кВт), а минимум – на декабрь (0,4 кВт). Для удобства расчетов среднегодовую генерируемую мощность за 24 часа округлим до 2,5 кВт·ч. Для питания перегона в среднем необходимо 10 кВт·ч энергии в сутки, соответственно для обеспечения обслуживания электроэнергией и заряда аккумуляторных батарей необходима фотоэлектрическая установка, генерирующая мощность не менее 4 кВт·ч.

Для примера выберем солнечные модули российского производителя «НПП «Квант»» типа КСМ-200. Электрические параметры ФЭ-модуля типа КСМ-200 приведены при стандартных условиях: освещенность – 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура – плюс 25 °С (табл. 1) [13].

Исходя из приведенных данных, количество ФЭ-модулей будет рассчитываться как  $4000 \text{ Вт} / 200 \text{ Вт} = 20$  модулей. Соединяем их параллельно-последовательно (в зависимости от параметров контроллера заряда). Стоимость одного модуля составляет 19 500 руб. Таким образом, стоимость всей установки будет составлять  $19\,500 \cdot 20 = 390\,000$  руб., а занимаемая площадь  $1,3 \cdot 20 = 26 \text{ м}^2$ .

Month	$E_d$	$E_m$
Jan	0.76	23.6
Feb	1.51	42.2
Mar	2.81	87.0
Apr	3.63	109
May	4.10	127
Jun	4.10	123
Jul	3.95	122
Aug	3.43	106
Sep	2.44	73.3
Oct	1.36	42.1
Nov	0.58	17.4
Dec	0.40	12.5
<b>Yearly average</b>	<b>2.43</b>	<b>73.8</b>
<b>Total for year</b>		<b>886</b>



**Рис. 4.** Сводная статистика вырабатываемой мощности и график:  
 $E_d$  – количество киловатт-часов, произведенных в сутки;  $E_m$  – произведенных в месяц;  
 Yearly average – среднегодовое значение; Total for year – всего за год

Таблица 1. Параметры КСМ-200

Цена, руб., в том числе НДС	19 500
Мощность $P_{\max}$ , Вт	200
Напряжение холостого хода, В	45,2
Ток короткого замыкания, А	5,9
Коммутационное напряжение, В	24
Габаритные размеры, м <sup>2</sup>	1,3
Масса, кг	16

Затем подберем необходимую емкость АКБ. Напряжение на батарее – 24 В. Для функционирования установки необходим запас энергии 10 000 Вт + + 20 % (с учетом неполного разряда аккумулятора), соответственно емкость батареи будет рассчитываться как  $12\,000/24 = 500 \text{ А}\cdot\text{ч}$ . В расчет возьмем 4 батареи емкостью 250 А·ч каждая. Соединить их можно по-разному, в зависимости от конкретных условий. В качестве примера подойдет аккумулятор типа DELTA DTM 12–250 Long. Цена одной такой батареи составляет 34 600 руб., значит, комплект из 4 штук  $34\,600 \cdot 4 = 138\,400$  руб. Этот массив АКБ обеспечит автономную работу сигнальной точки на протяжении 24 часов. Для 48 часов бесперебойной работы необходимо увеличить количество ФЭ-модулей и АКБ вдвое, в результате чего значительно повысится стоимость всей установки.

Поскольку для работы перегона требуется однофазное напряжение 220 В с частотой 50 Гц, нужно использовать инвертор. Для данной мощности, в качестве примера, подойдет инвертор «Синус» 1700 отечественного производства, с хорошими показателями надежности. Стоимость такого инвертора в среднем составляет 22 500 руб.

Помимо вышеперечисленных элементов, необходимы контроллеры заряда, это так называемый регулятор тока заряда АКБ от солнечных модулей. Для данной мощности подойдет контроллер заряда типа Outback FlexMax-60 российского производителя ООО «Солнечная энергия» в количестве двух штук. Его средняя стоимость составляет 30 000 руб. Необходимо еще добавить стоимость кабелей, разъемов и расходных материалов (около 10 000 руб.). С учетом перечисленного оборудования получаем усредненную стоимость системы автономного энергоснабжения перегона (табл. 2).

Полная стоимость автономной системы энергоснабжения перегона – 620 900 руб. Сюда не входят стоимость монтажных и пусконаладочных работ, а также прочие расходы, связанные с дальнейшей эксплуатацией и обслуживанием системы.

Таким образом, средняя цена за 1 кВт установленной мощности фотоэлектрической установки составляет около 2500 долл. Для сравнения: атом-

**Таблица 2.** Стоимость системы энергоснабжения перегона

Тип оборудования	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Солнечный модуль КСМ-200	20	390 000
АКБ DELTA DTM 12-250 Long	4	138 400
Инвертор «Синус» 1700	1	22 500
Контроллер заряда Outback FlexMax-60	2	60 000
Кабели, разъемы, расходные материалы		10 000
Всего		620 900

ный энергоблок мощностью 1000 МВт требует капитальных вложений порядка 2,5 млрд долл. и минимум 7 лет строительства. Данные по российским тепловым станциям: Северо-Западная ТЭЦ в Санкт-Петербурге – 1500 долл. за 1 кВт установленной мощности, Сочинская ТЭЦ – 2500 долл., Белгородская ТЭЦ «Луч» – 1200 долл. Строительство ГЭС обходится в мире от 800 до 2500 долл. за 1 кВт установленной мощности. Удельные затраты на 1 кВт установленной мощности сетевых ветроустановок в Европе составляют 1200 долл. на суше и около 1800 долл. – на море [14, 15].

Сегодня наиболее дорогими являются фотоэлектрические установки. Как ни парадоксально, но именно эта отрасль энергетики развивается наиболее быстрыми темпами. Себестоимость производства энергии на фотоустановках неуклонно снижается, а на электростанциях на органическом топливе и АЭС – растет.

## Заключение

В настоящее время остается проблема «сезонности» работы фотоэлектрической установки, так как в зимнее время для обеспечения уровня генерируемой энергии, сопоставимого с весенне-летним периодом, необходимо значительно большее количество ФЭ-модулей. Следует также обратить внимание на большое энергопотребление аппаратуры сигнальных точек. При использовании светодиодных светофорных головок, бесконтактных кодовых путевых трансмиттеров, тональных рельсовых цепей и т. д. необходимое количество ФЭ-модулей значительно сократится, так как уменьшится потребляемая мощность аппаратуры.

Самой перспективной сферой применения фотоэлектрических питающих установок могут стать устройства контроля, диагностики, связи и т. д., которые имеют малое энергопотребление. Кроме того, имеет смысл внедрение фотоэлектрических устройств на этапе проектирования участков, к которым еще не подведено централизованное питание. В случае круглогодичного энер-

гопотребления с экономической и технической точек зрения было бы выгодно применение комбинированной ветросолнечной энергетической установки. Как правило, максимальное значение скорости ветра наблюдается в осенне-зимне-весенний период, когда поступление солнечной энергии уменьшается. В летние месяцы отсутствие ветра компенсируется солнечной энергией [11].

Несмотря на все указанные проблемы, возникающие при вводе в эксплуатацию и обслуживании фотоэлектрических установок, разработчикам фотоэлементов удастся их решать. Следует иметь в виду, что в ближайшем будущем энергоемкость устройств автоматики, телемеханики и связи будет значительно снижаться, тогда солнечные электростанции могут получить широкое распространение для питания этих устройств и для энергообеспечения железнодорожного транспорта, главным образом отдаленных малых станций.

### Библиографический список

1. Мейтин М. Фотовольтаика : материалы, технологии, перспективы. Пусть всегда будет Солнце / М. Мейтин // Электроника-НТБ. – 2000. – № 6. – С. 40–47.
2. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика / А. Б. Алхасов. – 2-е изд., перераб. – М. : Физмалит, 2012. – 256 с.
3. Энергетическая стратегия холдинга «РЖД» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 : утв. распоряжением ОАО «РЖД» 15.12.2011 № 2718р. – М., 2011. – 97 с.
4. Р801 Общие рекомендации по разработке устройств СЦБ. – 3-е изд. – Варшава : Комитет ОСЖД, 2003. – 30 с.
5. Дмитриев В. Р. Электропитающие устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : справочник / В. Р. Дмитриев. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.
6. СТО «РЖД» 08.025–2015 Устройства электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики. Технические требования : утв. распоряжением ОАО «РЖД» 21.12.2015 № 3016р. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 31 с.
7. Китаев В. Е. Электропитание устройств связи : учебник для вузов / В. Е. Китаев. – М. : Связь, 1997. – 328 с. : ил.
8. Коган Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 438 с. : ил.
9. Михайлов А. Ф. Электропитающие устройства и линейные сооружения автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта : учебник для техникумов ж.-д. транспорта / А. Ф. Михайлов. – М. : Транспорт, 1987. – 383 с.
10. Сапожников Вл. В. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Вл. В. Сапожников, Н. П. Ковалев, В. А. Кононов, А. М. Костроминов, Б. С. Сергеев ; под ред. проф. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2005. – 453 с.
11. Фалеев Д. С. Возобновление и ресурсосберегающие источники энергии: физические основы, практические задачи; применение для электропитания

- устройств автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Д. С. Фалеев. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. – 175 с. : ил.
12. Данные по солнечной радиации различных континентов и других климатических параметров. – URL : <http://re.jrc.ec.europa.eu>.
  13. Солнечные батареи Квант КСМ и оборудование. – URL : <http://www.solarroof.ru/products/6/36>.
  14. Безруких П. П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатель по территориям) / П. П. Безруких. – М. : ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.
  15. Мандил К. Возобновляемая энергия в России. От возможности к реальности. ОЭСР/МЭА / К. Мандил. – Париж, 2004. – 120 с.

*Kushpil Igor V.*

Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

*But Alexander N.*

UTEM SOLAR company

### **Use photovoltaic modules for powering signaling interlocking and blocking devices**

The article discusses the main aspects of the use of solar energy as a source of railway automation and remote control power. The analysis of the current regulatory framework on the matter. Describes the benefits of autonomous feeding installations. A special group assigned the basic requirements for power systems and redundant power supplies automation and remote control equipment. Performed economic calculations independent power supply automation system on the basis of statistical of data from the coefficient insolation territory of the Moscow region during the last 20 years. A brief summary of the main problems that may arise during commissioning, maintenance and use of photovoltaic panels on the rail network «Russian Railways». Particular attention is paid to future prospects for of the widespread introduction of solar installations in respect for powering signaling interlocking and blocking devices.

power control devices; solar energy; photovoltaic modules; solar power system; photoelectric effect; insolation coefficient; calculation of the energy supply system; redundant power supply; energy strategy «Russian Railways»

## Reference

1. Mejtin M. (2000). Fotovoltaic: Materials, Technology, Trends. Let the Sun be forever [Fotovol'taika: materialy, tekhnologii, perspektivy. Pust' vsegda budet Solnce]. Electronics – STB [Ehlektronika-NTB], issue 6. – Pp. 40–47.
2. Alhasov A. B. (2012). Renewable energy [Vozobnovlyayaemaya ehnergetika], 2nd revised edition. Moscow, Fizmatlit [Fizmalit]. – 256 p.
3. Energy «RZD» holding strategy for the period up to 2015 and up to 2030. The Order of JSC «Russian Railways» of 15 December 2011 N 2011 Moscow 2718r. [Energeticheskaya strategiya holdinga «RZHD» na period do 2015 goda i na perspektivu do 2030. Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 15 dekabrya 2011 g. N 2718r. Moskva 2011g]. – 97 p.
4. R801 Third Edition (2003). General guidelines for the development of signaling devices. Warszawa, Komitet OSZHD. – 30 p.
5. Dmitriev V. R. (1983). Electrofeeding railway automation, remote control and communication. Handbook [Ehlektropitayushchie ustrojstva zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi. Spravochnik]. Moscow, Transport [Transport]. – 248 p.
6. STO «RZD» 08.025–2015 power devices of railway automation and remote control. Technical requirements. Order of JSC «Russian Railways» on December 21, 2015 N 3016r [STO «RZHD»08.025–2015. Ustrojstva ehlektropitaniya zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki. Tekhnicheskie trebovaniya. Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 21 dekabrya 2015 g. N 3016r]. Petersburg state transport university [FGBOU VPO PGUPS], 2015. – 31 p.
7. Kitaev V. E. (1997). Power supply of communication devices [Ehlektropitanie ustrojstv svyazi]. Textbook for high schools. Moscow, Communication [Svyaz']. – 328 p.
8. Kogan D. A. (2003). Equipment supply of railway automation [Apparatura ehlektropitaniya zheleznodorozhnoj avtomatiki]. Moscow, ECC «Akademkniga» [Akademkniga]. – 438 p.
9. Mihajlov A. F. (1987). Electrofeeding devices and linear structures of automation, remote control and communication of railway transportation. Textbook for technical railway transp. [Ehlektropitayushchie ustrojstva i linejnye sooruzheniya avtomatiki, telemekhaniki i svyazi zheleznodorozhnogo transporta]. Moscow, Transport [Transport]. – 383 p.
10. Sapozhnikov V. V., Kovalev N. P., Kononov V. A., Kostrominov A. M., Sergeev B. S. (2005). Supply of railway automation devices, remote control and communication. Textbook for high schools train transport [Ehlektropitanie ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi. Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta]. Eds. V. V. Sapozhnikova. Moscow, Route [Marshrut]. – 453 p.
11. Faleev D. S. (2003). Resume and resource-saving energy. Physical foundations and practical tasks; application for the supply of automation, remote control and communication in railway transport. Textbook [Vozobnovlenie i resursosberegayushchie istochniki ehnergii: Fizicheskie osnovy, prakticheskie zadachi; primenenie dlya ehlektropitaniya ustrojstv avtomatiki, telemekhaniki i svyazi na zheleznodorozhnom transporte]. Ed. 4th, Revised. and ext. Khabarovsk, Publishing house DVGUPS [Izd-vo DVGUPS]. – 175 p.

12. <http://re.jrc.ec.europa.eu>. Data on solar radiation of different continents and other climate parameters [Dannye po solnechnoj radiacii razlichnyh kontinentov i drugih klimaticheskikh parametrov].
13. <http://www.solarroof.ru/products/6/36>. Solar Quantum KSM and equipment [Solnechnye batarei Kvant KSM i oborudovanie].
14. Bezrukih P.P. (2007). Resource Directory of renewable energy and local Russian fuels indicator on the territories [Spravochnik po resursam vozobnovlyaemyh istochnikov ehnergii Rossii i mestnym vidam topliva.pokazatel' po territoriyam]. Moscow, IAC Energy [IAC Energiya]. – 272 p.
15. Mandil K. (2004). Renewable Energy in Russia. From opportunity to reality. OECD/IEA. Paris [Vozobnovlyaemaya energiya v Rossii. Ot vozmozhnosti k real'nosti. OEHSR/MEHA]. – 120 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никтиным  
Поступила в редакцию 01.12.2016, принята к публикации 16.01.2017*

*КУШПИЛЬ Игорь Васильевич* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения.

e-mail: [i\\_kushpil@mail.ru](mailto:i_kushpil@mail.ru)

*БУТ Александр Николаевич* – технический директор ООО «UTEM SOLAR», г. Киев (Украина).

e-mail: [but@utem.org.ua](mailto:but@utem.org.ua)

© Кушпиль И. В., Бут А. Н., 2017