

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УЗБЕКИСТАНА

РУЗИЕВ Даврон Хасанович — аспирант¹; e-mail: ruziyevddd@gmail.com

¹Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», Москва

Статья посвящена исследованию возможностей применения солнечных батарей при энергоснабжении устройств железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом географического положения Узбекистана. Внимание в исследовании сфокусировано на вопросах энергоэффективного управления стрелочными электроприводами, на промежуточных станциях с питанием от солнечных батарей. На примере станции «Сабира Рахимова» произведена оценка среднесуточного количества переводов стрелок, выполнен расчет потребного количества электроэнергии для питания стрелочных электроприводов, а также определены возможности восполнения этой энергии от солнечных батарей. Проанализировано изменение мощности солнечных батарей в разных странах на станциях одного и того же типа. Описаны преимущества альтернативной энергетики для нужд железнодорожной автоматики и телемеханики. Расчет эффективности автономной системы электроснабжения устройств проведен за последние 20 лет на основе статистических данных о коэффициенте инсоляции территории Ташкента и Москвы (для сравнения). Приведены технологии размещения солнечных батарей на объектах железнодорожной инфраструктуры. Особое внимание уделяется перспективам широкого внедрения солнечных батарей для энергоснабжения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Ключевые слова: энергоэффективность железнодорожного транспорта; интенсивность движения поездов; стрелочный перевод; электропривод; возобновляемые источники энергии; альтернативные источники энергии; солнечная батарея; фотоэлектрический модуль; коэффициент инсоляции.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-01-48-66

Введение

В системе железнодорожного транспорта станции являются основными линейными подразделениями, на которых осуществляется взаимодействие между перевозчиком и грузоотправителем. На станциях располагается большой комплекс различных технических сооружений, служебно-технических, производственных, культурно-бытовых зданий и устройств [1]. Эти комплексы относятся к потребителям электрической энергии разной категории по энергоэффективности [2].

Энергоэффективность — это рациональное использование энергетических ресурсов [3]. На современном уровне развития техники и технологий возможно создание таких устройств, которые не снижают эффективности своей работы при подключении возобновляемых источников энергии. Их реализация позволяет добиться экономически эффективного использования энергетических ресурсов и соблюдения требований охраны окружающей среды.

Использование альтернативной энергетики позволяет также следовать стратегии энергосбережения и снижения вредных выбросов углекислого газа. Анализ зарубежного опыта показывает растущий интерес у мирового научного сообщества к альтернативной энергетике [4, 5].

Наиболее распространенными источниками альтернативной энергии являются энергия солнца и ветра, получаемые с использованием солнечных батарей и ветряных турбин. Способы их размещения различны — от целых полей с панелями либо турбинами для генерации больших объемов энергии до небольших локальных установок для питания конкретных объектов и устройств [6].

В настоящее время во многих странах активно развивается направление солнечной энергетики. Благодаря развитию новых технологий стоимость солнечных батарей и преобразователей стремительно снижается. Возобновляемая электроэнергия в некоторых странах

дает электроэнергию по тем же или более низким ценам, что и традиционные ископаемые виды топлива. 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 [7].

В целях повышения энергоэффективности во всем мире, включая Узбекистан, был сформирован ряд законодательных актов, правил, программ и инициатив [4, 5, 8–12]. Запланированные программы на срок до 2030 г. будут определять развитие каждой отрасли, включая железнодорожную. Основным показателем достижения энергосбережения и энергоэффективности для европейских стран является не только общее сокращение энергопотребления, но и переход на возобновляемые источники энергии в сфере промышленности, включая транспорт. В Узбекистане действующие мощности топливно-энергетической отрасли не в полной мере обеспечивают растущую потребность в энергоресурсах, энергоемкость отечественной экономики значительно превышает средний показатель развитых стран. На долю возобновляемых источников энергии, вырабатываемой в основном гидроэлектростанциями, в настоящее время приходится лишь 10 % от общего объема производимой электрической энергии в стране [12].

В мировой практике расширяется использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), однако в Узбекистане этот процесс развивается крайне медленно. Учитывая важное значение ВИЭ в экономии углеводородных ресурсов, обеспечении энергетической безопасности страны, а также в обеспечении электроэнергией в транспортной отрасли в республике все большее внимание придается развитию этого направления [13].

Разработка технологий и методов, которые позволят повысить эффективность использования энергоресурсов во всех сферах железнодорожного транспорта, включая устройства автоматики и телемеханики, весьма актуальна [2, 14].

В железнодорожной энергетической системе устройства автоматики и телемеханики относятся к I категории и считаются одними из

основных потребителей [15]. Поэтому следует обеспечить их источником гарантированного питания. Принимая во внимание тот факт, что в Узбекистане около 70–80 % дней в году являются солнечными, отмечаем перспективу реализации системы энергоснабжения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) от солнечных батарей. В частности, обратим внимание на объекты управления стрелочными переводами (СЭП).

Целью настоящего исследования является определение возможностей использования солнечных батарей в обеспечении электроэнергией СЭП для их управления и контроля на промежуточных станциях Узбекистана. В соответствии с этим поставлены следующие задачи:

- изучение среднесуточного потребления электроэнергии СЭП на промежуточных станциях при переводе стрелок и их контроле, а также при техническом обслуживании;
- исследование технологий установки солнечных батарей на объектах инфраструктуры железных дорог.

Необходимо еще раз подчеркнуть актуальность настоящей работы. В Республике Узбекистан существует Постановление президента от 22 августа 2019 г. № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии». Использование ВИЭ для обеспечения автономного энергоснабжения устройств ЖАТ согласуется с этим постановлением. Кроме того, при совершенствовании технологий влечет за собой снижение капиталовложений в строительство (например, позволяет снизить расход кабеля при переходе к местному энергоснабжению) и сокращение эксплуатационных затрат (например, приводит к снижению числа неисправностей, таких как короткие замыкания и обрывы кабелей).

1. Эксплуатационные особенности объекта исследования

Железнодорожная компания АО «Узбекистон Темир Йуллари» — государственный железнодорожный перевозчик Узбекистана. АО «УТЙ» обеспечивает регулярное пассажирское



Рис. 1. Информация о количестве станций железных дорог АО «Узбекистон темир йуллари»

сообщение между основными городами Узбекистана, а на долю грузовых перевозок, осуществляемых по железной дороге, приходится 90 % от общего грузооборота страны. В ведомстве АО «УТЙ» также находится Ташкентский метрополитен. Общая протяженность железнодорожных путей составляет более 7000 км, и количество железнодорожных станции составляет 268 станции (рис. 1) по состоянию на 1 января 2021 г. [16].

Наиболее распространенным видом станций на железных дорогах являются станции промежуточного типа. Их число в АО «УТЙ» составляет 191 (свыше 70 % от общего числа всех станций) [16]. На таких станциях осуществляется гораздо меньше технологических операций, чем на станциях иных типов. Поэтому рассмотрение возможностей применения солнечных батарей для энергоснабжения устройств ЖАТ на станциях промежуточного типа оправдано. Дальнейшие исследования могут охватывать и объекты ЖАТ на более сложных станциях.

В качестве примера рассмотрим промежуточную станцию «Сабира Рахимова» (далее — «Рахимова»), расположенную на двухпутном участке и входящую в подразделение регионального железнодорожного узла Ташкента. На станции «Рахимова» доступны все виды передвижений, а интенсивность движения составляет до 50 пар поездов в сутки. На станции осуществляются следующие операции: прием, отправление и пропуск поездов, прием

и выдача грузов, обслуживание пассажиров. Кроме того, в зону ответственности этой станции входит обслуживание подъездных путей промышленных предприятий, формирование отправительских маршрутов, оборот составов пригородных поездов. Станция относится к IV классу. На рис. 2 изображен схематический план станции «Рахимова» в однониточном исполнении.

По станции осуществляют пропуск около 20–40 пар поездов в сутки. Чаще всего осуществляется безостановочный пропуск.

Станция имеет 5 приемо-отправочных путей (3 из них служат для безостановочного пропуска), 2 тупика и 4 подъездных пути. В централизацию включены 29 рельсовых цепей, 15 поездных, 16 маневровых светофоров, 1 маршрутный указатель, 21 стрелочный перевод (из них 3 стрелки с непрерывной поверхностью катания — НПК) (рис. 2).

Интенсивность движения поездов может колебаться в зависимости от посуточного или внутрисуточного изменения плотности потока поездов [17].

На величину пропускной способности существенное влияние оказывают стрелочные переводы, так как операции скрещения, обгона, приема, отправления поездов и маневровые передвижения осуществляются именно по стрелочным переводам. Кроме того, энергопотребление СЭП считается одним из самых высоких для устройств ЖАТ [15]. Более того, в перспективе совершенствования технологий

2. Расчет среднесуточной потребляемой электроэнергии на станции

Рассчитаем среднесуточное потребление стрелочными приводами электроэнергии на станции «Рахимова». Расчеты показывают, что в среднем одна стрелка в сутки на данной станции может переводиться в нечетной горловине 18 раз, а в четной — 17 раз. При расчете потребляемой электроэнергии надо учитывать максимальную нагрузку, чтобы обеспечить бесперебойность питания устройств ЖАТ.

Мощность электродвигателя — это полезная механическая мощность на валу электродвигателя [19]. Она зависит от тягового усилия стрелочного перевода. Усилие перевода стрелки затрачивается на преодоление трения перемещаемых частей. Усилие преодоления сопротивления в шарнирах определяют экспериментально. Потребляемая и полезная мощность электроприводов с электродвигателями постоянного тока определяется по следующим формулам [20, 21]:

$$P_{\text{потреб}} = UI, \quad (1)$$

где U — напряжение на зажимах электродвигателя, В;
 I — потребляемый ток, А.

$$P_{\text{полез}} = \frac{Fl}{t}, \quad (2)$$

где F — нагрузка на шибере, Н;
 l — расстояние хода шибера, мм;
 t — время перевода, с.

На станции установлены электроприводы типа СП-6М и СП-12У с электродвигателями постоянного тока мощностью 0,25 кВт. Максимальное тяговое усилие СП-6М — 6000 Н, СП-12У — 6500 Н, максимальное время перевода 7–10 с, электропитание 160 В постоянным током. Главным отличием электропривода СП-12У от СП-6М является разное расстояние хода шибера и контрольных линеек (220 мм для СП-12У и 154 мм для СП-6М). Электромеханические характеристики электроприводов типа СП-6М и СП-12У с электродвигателем маркой МСП-0,25 на напряжение 160 В приведены в табл. 2. Из таблицы можно получить соотношение мощности и усилия перевода стрелки (рис. 3).

По приведенным данным в табл. 2 рассчитаем выполненную работу электропривода за сутки. Единицей измерения энергии является ватт-час. Она определяет количество работы, выполненной электрическим прибором. Для перехода показателя Вт в Вт·ч используется следующая формула [22]:

$$E = Pt, \quad (3)$$

где E — энергия, Вт·ч;
 P — мощность, Вт;
 t — время, ч.

Для обеспечения гарантированного электропитания электроприводов расчет произведем при худших условиях, то есть при максимальной нагрузке и времени перевода. По характеру работы управляющие, рабочие и контрольные цепи отличаются друг от друга. Для этих цепей расчет энергии выполним отдельно. В схеме

Таблица 2. Электромеханические характеристики электроприводов

Параметры 1000		Тяговое усилие, Н						
		2000	3000	4000	5000	6000	6500	
Потребляемый ток, А	СП-6М	2,0	2,8	3,5	4,2	5,0	5,5	—
	СП-12У	1,8	2,5	3,4	4,2	4,8	5,4	5,5
Время перевода, с	СП-6М	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	3,7	—
	СП-12У	2,5	3,0	3,5	3,9	4,3	4,7	4,9
Потребляемая мощность, Вт	СП-6М	320	448	560	672	800	880	-
	СП-12У	288	400	544	672	768	864	880
Потребляемая мощность контрольной цепи одной стрелки, Вт								5,4

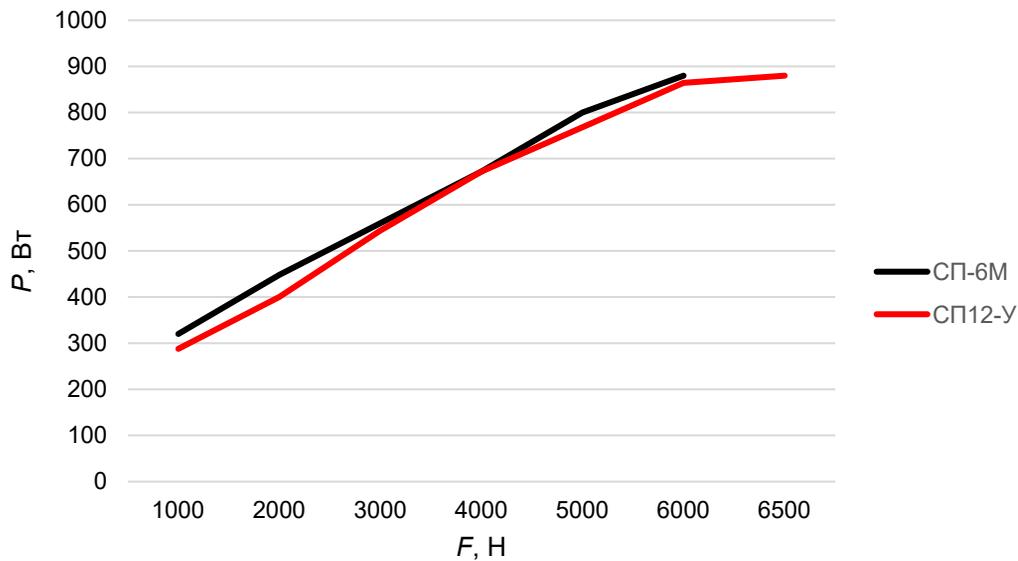


Рис. 3. Соотношение мощности и усилия перевода стрелки

Таблица 3. Энергия, потребляемая рабочей и контрольной цепью одного электропривода при двухпроводной схеме управления стрелками

Параметры	Единица измерения	Время, ч	Потребляемая мощность, Вт	Потребляемая энергия, Вт·ч
Рабочая цепь	1 перевод	0,0028	880	2,5
Контрольная цепь	1 час	1	5,4	5,4

управления стрелкой управляющая цепь незначительно потребляет электроэнергию. Поэтому в расчете она не учитывалась.

По формуле 3 определяем расход энергии за час работы одного электропривода. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Количество переводов часто используемых стрелок по станции составляет 25 (табл. 1). Это количество может достигнуть от 30 до 35 переводов за сутки. Тогда потребляемая энергия за сутки одной стрелки будет равна:

$$E_{\text{раб.ц}} = 35 \cdot 2,5 = 87,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч} ,$$

$$E_{\text{контр.ц}} = 24 \cdot 5,4 = 129,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч} ,$$

$$E_{\text{общ.стр}} = 129,6 + 87,5 = 217,1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} .$$

В нечетной горловине имеется 13 электроприводов, в четной — 11. При одинаковом использовании всех стрелок общая потребляемая энергия на станции будет равна:

$$E_{\text{общ.ст}} = 24 \cdot 0,2171 = 5,21 \text{ кВт} \cdot \text{ч} .$$

По станции «Рахимова» среднесуточная потребляемая мощность стрелок составляет 5,21 кВт·ч/сутки.

3. Расчет мощности солнечных батарей

По полученным выше данным произведены расчеты необходимого количества и мощности солнечных батарей для электропитания СЭП нечетной горловины станции. Мощность солнечных батарей рассчитывается по следующим формулам [23]:

$$P_{\text{сп}} = \frac{E_{\text{п}} k P_{\text{инс}}}{E_{\text{инс}}} , \tag{4}$$

где $P_{\text{сп}}$ — мощность солнечных батарей, Вт;
 $E_{\text{п}}$ — потребляемая энергия, Вт·ч в сутки;
 $E_{\text{инс}}$ — среднемесячная инсоляция января* (из таблицы годовой инсоляции городов [24]) кВт·ч/м²/день;
 $P_{\text{инс}}$ — мощность инсоляции на земной поверхности на одном квадратном метре 1000 Вт/м²;

* В Ташкенте в этом месяце наблюдаются наихудшие условия для генерации энергии от солнечных батарей.

Таблица 4. Мощности, вырабатываемые солнечными батареями по регионам

Регион	Зенитный угол, град.	Среднемесячная выработка электроэнергии кВт·ч/сутки												E _{ср.} кВт·ч/сутки	ΣE _{год.} кВт·ч
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		
Пекин	40	0,42	0,45	0,46	0,47	0,44	0,41	0,37	0,36	0,40	0,41	0,38	0,39	0,41	150,55
Нью-Дели	29	0,39	0,45	0,50	0,52	0,51	0,45	0,39	0,36	0,43	0,48	0,45	0,40	0,44	162,34
Душанбе	39	0,26	0,29	0,31	0,35	0,40	0,44	0,47	0,50	0,49	0,40	0,29	0,24	0,37	134,72
Ташкент	41	0,25	0,30	0,37	0,43	0,47	0,50	0,50	0,51	0,48	0,42	0,30	0,23	0,40	144,97
Нур-Султан	51	0,14	0,23	0,36	0,39	0,42	0,43	0,42	0,40	0,34	0,25	0,18	0,13	0,31	112,03
Екатеринбург	57	0,11	0,21	0,32	0,37	0,35	0,38	0,37	0,30	0,23	0,16	0,13	0,08	0,25	91,18
Москва	56	0,12	0,21	0,30	0,32	0,37	0,36	0,37	0,33	0,25	0,17	0,12	0,09	0,25	91,06
С-Петербург	60	0,07	0,16	0,27	0,34	0,39	0,39	0,39	0,35	0,26	0,16	0,09	0,05	0,24	88,34
Хартум	16	0,47	0,51	0,55	0,55	0,53	0,56	0,52	0,48	0,51	0,50	0,48	0,46	0,51	185,97
Вашингтон	39	0,24	0,29	0,33	0,36	0,38	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,26	0,22	0,33	119,86
Бразилиа	16	0,40	0,41	0,40	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49	0,46	0,41	0,39	0,38	0,43	157,62

k — коэффициент потерь на заряд — разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное обычно принимают равным 1,2–1,4.

$$N_{сп} = \frac{E_{п}}{P_{сп} t_{вэ}}, \quad (5)$$

где $N_{сп}$ — количество солнечных батарей;
 $E_{п}$ — потребляемая энергия, Вт · ч в сутки;
 $P_{сп}$ — мощность солнечных батарей, Вт;
 $t_{вэ}$ — время среднесуточной выработки энергии солнечными батареями, ч.

Для построения мощных солнечных электростанций удобнее использовать фотоэлектрические модули (панели) большого номинала, что сокращает количество коммутационных соединений на киловатт мощности и увеличивает надежность системы. Выбираем монокристаллическую солнечную панель мощностью 60 Вт и площадью 0,5 м². По времени суток основная выработка электроэнергии приходится на дневные 8 часов. При расчете учитываются все нюансы погодных условий и определяются данные по параметрам солнечной инсоляции. Воспользуемся онлайн-калькулятором для расчета работы солнечной электростанции, который предоставляет средние данные по инсоляции

местности, основываясь на статистике последних 20 лет [7].

Для анализа мощности генерации энергии в зависимости от региона расчет произведем для нескольких стран с сопоставимыми по объемам движения характеристиками. Расчет производится по следующим данным: $P_{сп} = 60$ Вт, $N_{сп} = 1$ шт., зенитный угол (зависят от географической широты). Результаты расчета приведены в табл. 4 и на рис. 4.

Как видно из таблицы и графиков, в странах с высокой солнечной активностью в зимний период можно обеспечить суточную потребность в электроэнергии при установке солнечной батареи мощностью 60 Вт на каждый стрелочный перевод. Летом этой энергии вырабатывается в два раза больше. В странах, расположенных на линии экватора, можно использовать менее мощные панели. В северных странах солнечные батареи с такой мощностью не могут вырабатывать достаточное количество энергии в зимний период, хотя они могут обеспечить необходимую энергию в летние дни. К сожалению, пасмурные дни в зимние месяцы в этих странах продолжаются неделями. С учетом этого требуется установка батарей большой мощности и большого количества аккумуляторов. Установка большого количества батарей и аккумуляторов, в свою

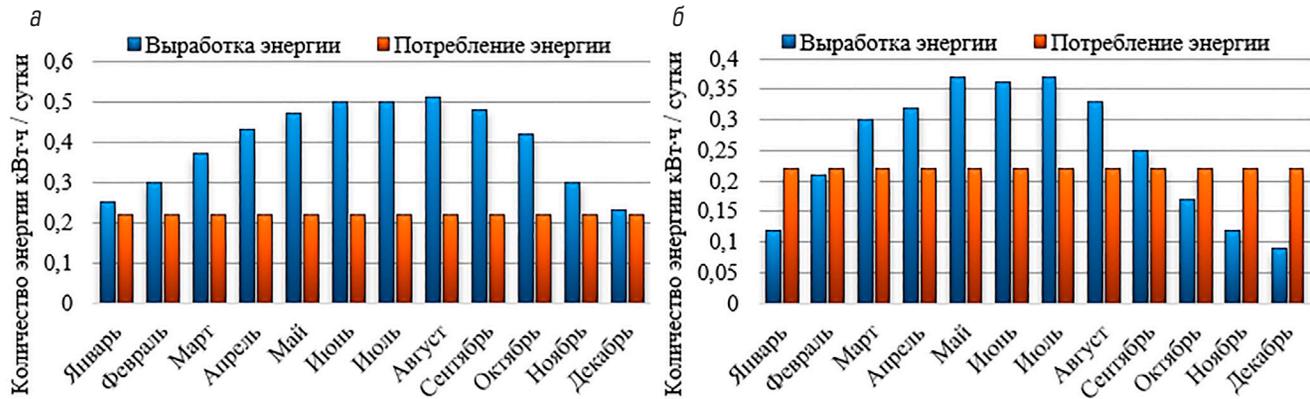


Рис. 4. Суммарная выработка электроэнергии за 2021 год: а — Ташкент; б — Москва

очередь, требует большой площади, что на территории железной дороги в определенной степени ограничено.

4. Технологии размещения оборудования

Первые системы централизации использовали местное управление и местное энергоснабжение, когда все оборудование размещалось в непосредственной близости к самим напольным объектам автоматизации. В дальнейшем разработчики систем управления движением поездов пошли по пути централизации управляющих функций и энергоснабжения устройств. В современном мире по европейскому опыту наблюдается некоторый переход к децентрализации [25, 26]. По сути, это перспективный подход, так как позволяет сконцентрировать управляющее оборудование и управляемые им объекты, а также снизить потери на энергоснабжение. В этой связи перспективным может быть использование схем энергоснабжения с местным размещением оборудования с питанием от ВИЭ и дополнительными кабельными схемами. При этом расход кабеля может быть существенно сокращен, не потребуется развитой подземной кабельной сети.

Установка устройств местного энергоснабжения на железнодорожных линиях требует особого внимания. Любые сооружения и устройства в соответствии с требованиями правил технической эксплуатации (ПТЭ) должны быть установлены в соответствии с габаритом приближения строений (С) [27, 28]. Кроме этого, надо обратить внимание на экономичность, энергоэффективность и аналогичные задачи.

Необходимо найти решения следующих вопросов:

- будет ли выбранная солнечная батарея вырабатывать необходимую (или большую) энергию от требуемой в зимний период;
- будет ли выбранная солнечная батарея вырабатывать в два раза больше энергии в летний период;
- проблема установки солнечной батареи и аккумуляторов.

Для решения задачи оптимальной установки солнечных батарей имеется несколько вариантов, которым свойственны свои преимущества и недостатки.

Первый вариант. Установка солнечной батареи на крышку электропривода под оптимальным зенитным углом** (табл. 4) или 0° относительно поверхности земли (рис. 5).

Преимущества этого варианта: не требует дополнительной высотной конструкции (мачта), удобен и экономичен в установке, удобен в обслуживании, отсутствие развитой кабельной сети при использовании местного энергоснабжения.

Недостатки: высока вероятность повреждения (выбрасывание чего-либо из вагонов, поломка со стороны человека и т. д.), неудобство при открывании крышки и обслуживании электропривода, нарушение габарита «С», затмение солнечных лучей подвижным составом.

Второй вариант. Установка солнечной батареи на специальную мачту, которая расположена рядом с каждым электроприводом (рис. 6).

**Для каждого региона он различен.

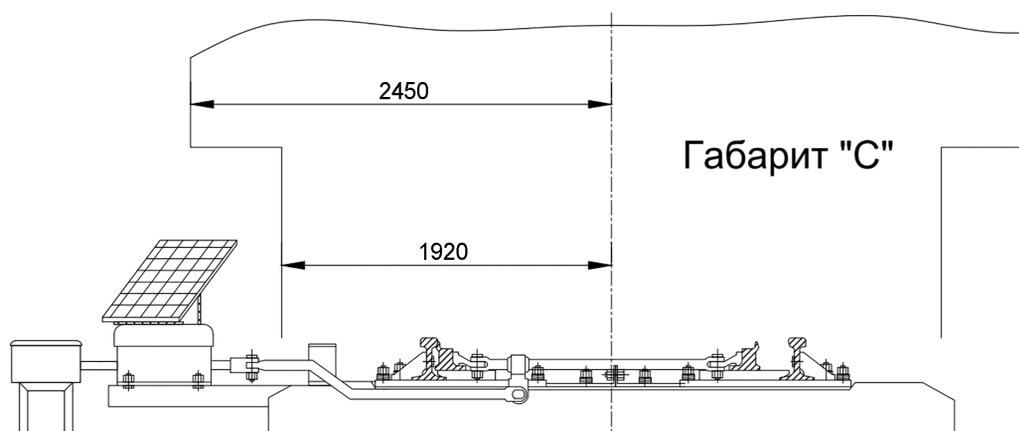


Рис. 5. Размещение солнечной батареи на электроприводе

Преимущество: простота установки при монтаже, под оптимальным углом и прямым попаданием солнечных лучей; низкое энергопотребление, расход кабеля, отсутствие траншеи и подземных кабелей при использовании местного энергоснабжения.

Недостаток: установка отдельной мачты для каждого электропривода (что не всегда подходит для габарита «С»), могут возникнуть трудности обслуживания на высоте.

Третий вариант. Установка солнечной батареи на опору контактной сети или на жесткую поперечину (рис. 7) [2, 18, 29–33].

Преимущество: возможность установки более мощных солнечных батарей или большого

их количества, простота установки под оптимальным углом и возможность обеспечения прямого попадания солнечных лучей, низкий уровень повреждений из-за внешних факторов (выбрасывание чего-либо из вагонов, поломка человеком и т. д., за исключением стихийных бедствий).

Недостаток: неудобства при установке и обслуживании, риск поражения электрическим током от контактной сети при нарушении норм охраны труда при установке и обслуживании, необходимость установки дополнительных мачт на не электрифицированных железнодорожных участках, повышенное энергопотребление, расход кабеля.

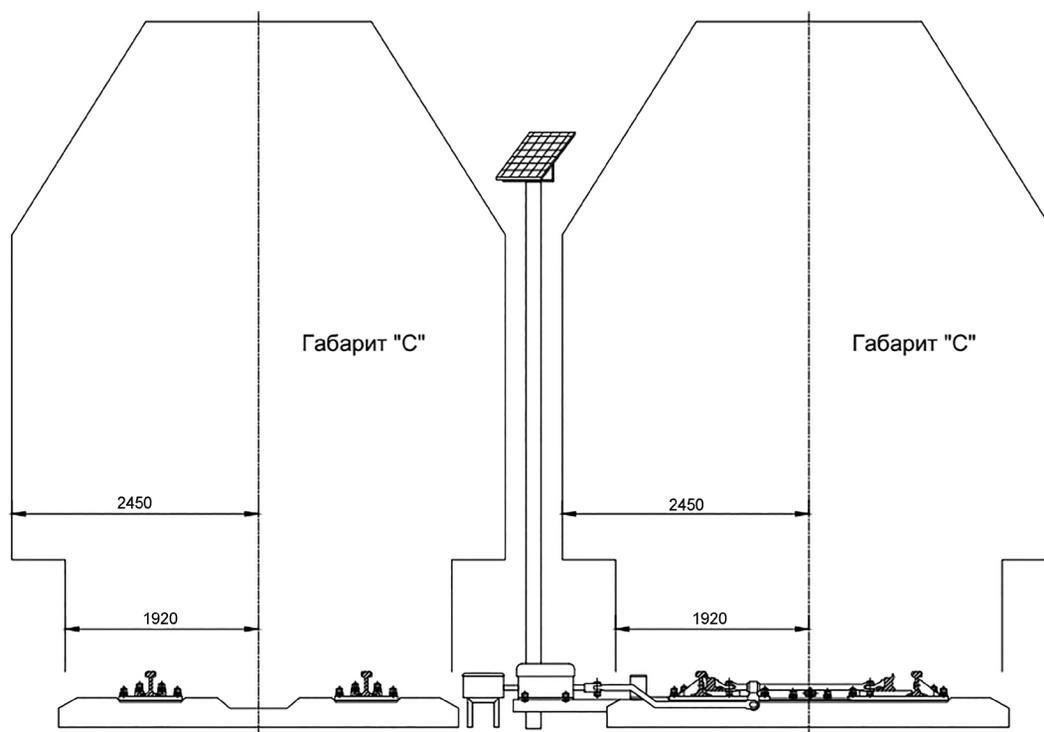


Рис. 6. Размещение солнечной батареи на специальной мачте

Четвертый вариант. Установка солнечных батарей на релейном шкафу (РШ), аккумуляторов в батарейном шкафу (БШ). Возможно совмещение средств управления и контроля в РШ или аккумуляторов и контроллеров в РШ [33] (рис. 8).

Преимущество: возможность установки вдоль железнодорожных линий, то есть без нарушения какого-либо габарита, подключение

резервного источника питания, удобство в обслуживании.

Недостаток: наличие подземной кабельной сети (это общий недостаток современных систем ЖАТ).

При использовании четвертого варианта размещения солнечных батарей возможна различная реализация кабельных сетей. В первом случае все стрелки соединяются кабелем с РШ.

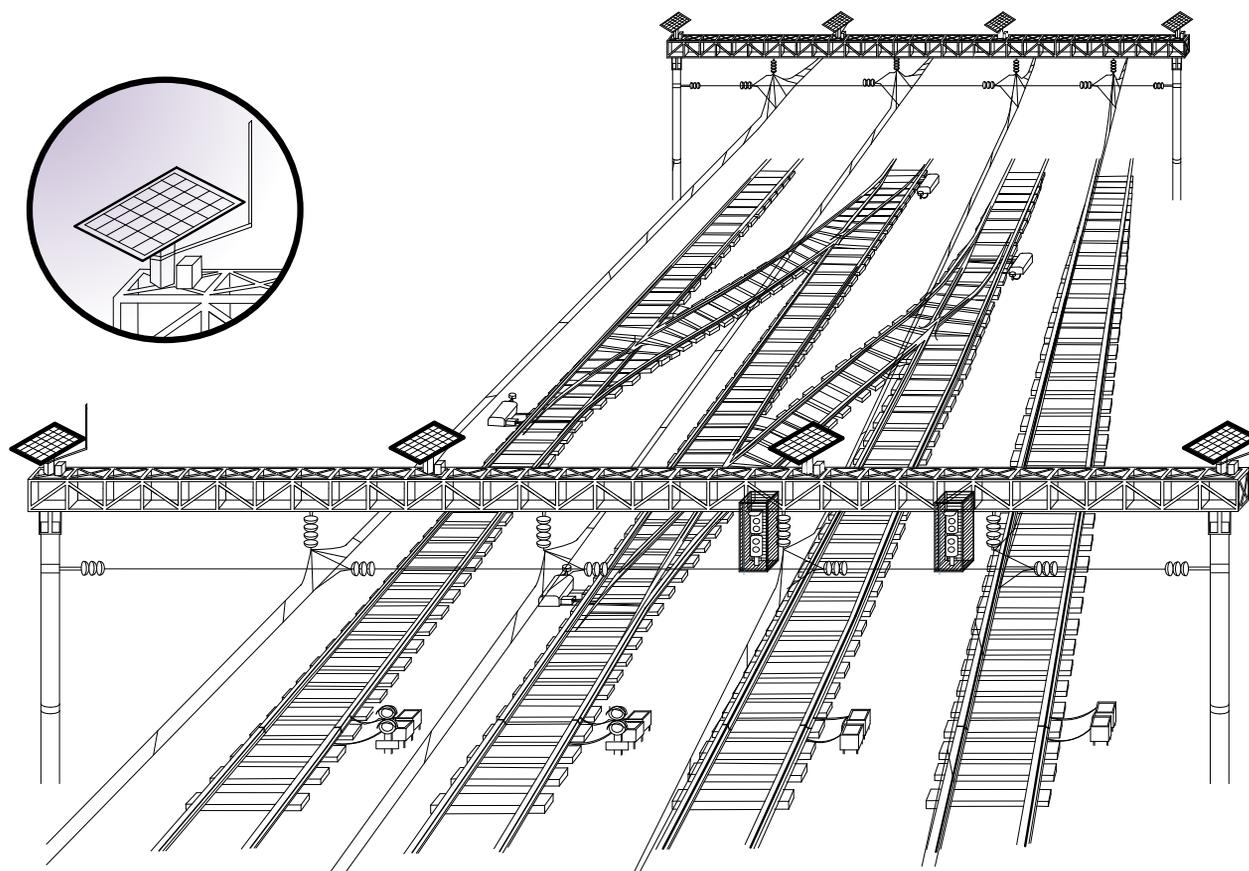


Рис. 7. Размещение солнечных батарей на опорах контактной сети

Во втором — на главных путях и часто используемых стрелках — соединяются кабелем с РШ и подключаются к резервному источнику питания для обеспечения гарантийного питания. Стрелки на второстепенных путях, тупиках и подъездных путях подключаются, как во втором, описанном выше, варианте. Возможно питание стрелок разных горловин от разных подсистем солнечных батарей.

Описанное в предыдущем абзаце решение позволяет обеспечить гарантированное питание стрелок, которые используются в основном для непрерывного управления движением поездов, в то же время экономя кабель, энергию, которые расходуются на управление стрелками второстепенных путей. Как видно из табл. 1, стрелки, направляющие на подъездной путь, переводятся гораздо реже, чем стрелки, уложенные на главных путях. Поэтому энергии, которую вырабатывает солнечная батарея за сутки, для таких стрелок может хватить на несколько дней.

При расчете по формулам (4) и (5) в этих четырех вариантах потребляемая энергия $E_{\text{п}}$ определяется по формуле:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{эп}} + E_{\text{вп}} + E_{\text{к}}, \quad (6)$$

где $E_{\text{эп}}$ — потребляемая энергия электроприводом, Вт·ч в сутки;

$E_{\text{вп}}$ — внутренняя потребляемая энергия, Вт·ч в сутки;

$E_{\text{к}}$ — потребляемая энергия кабельной сетью, Вт·ч в сутки.

При первом и втором варианте потери энергии в кабеле равняются нулю, поэтому для этих вариантов можем не учитывать величину $E_{\text{к}}$. При расчете для третьих и четвертых вариантов необходимо учитывать потери энергии в кабеле $E_{\text{к}}$. В формуле (4) учитывается внутренняя энергия потребления $E_{\text{вп}}$ как k . Поэтому $E_{\text{вп}}$ можем не учитывать в формуле (6), тогда формула выглядит так:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{эп}} + E_{\text{к}}. \quad (7)$$

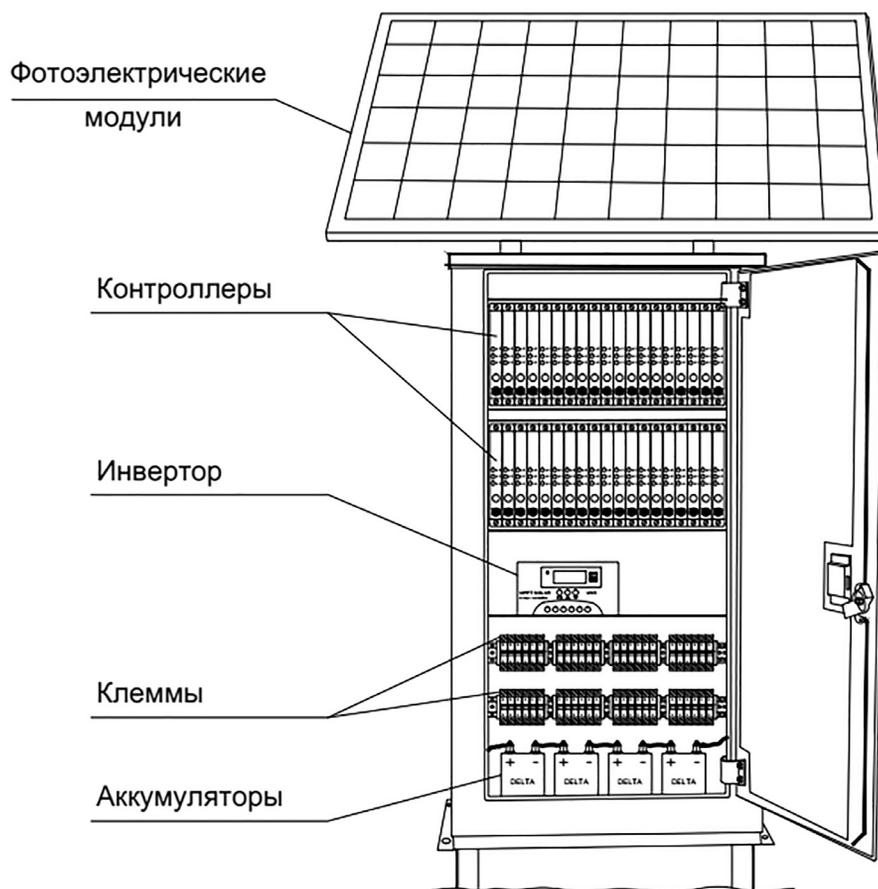


Рис. 8. Размещение солнечных батарей на крыше РШ

Таблица 5. Мощности, вырабатываемые панелями солнечных батарей при подключении по первому варианту организации кабельной сети

Регион	Зенитный угол, град.	Среднемесячная выработка электроэнергии кВт·ч/сутки												E _{ср} кВт·ч/сутки	ΣE _{год} кВт·ч
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		
Ташкент	41	3,58	4,25	5,27	6,13	6,72	7,17	7,15	7,22	6,87	5,91	4,31	3,26	5,35	2063,52
Москва	56	3,35	5,86	8,47	9,14	10,65	10,20	10,40	9,38	6,99	4,84	3,37	2,56	7,10	2592,24

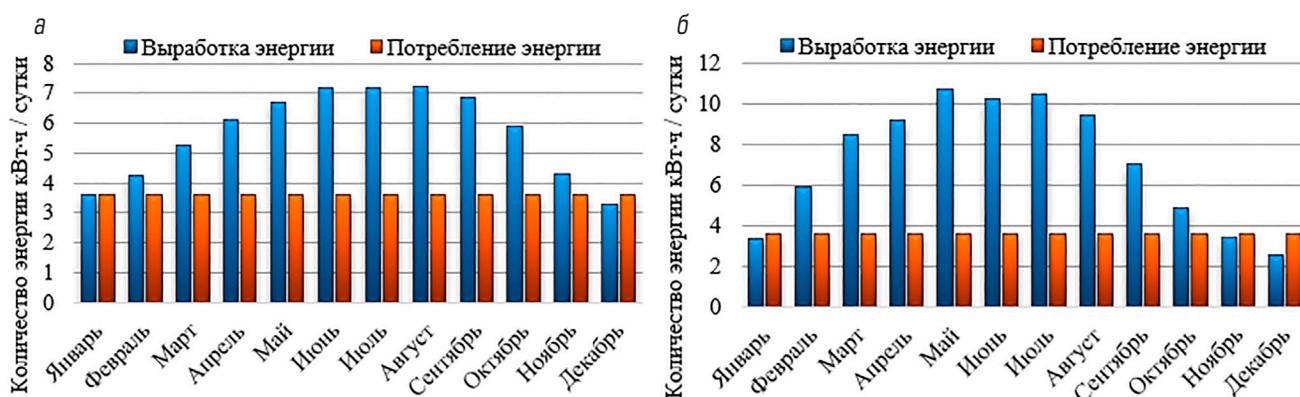


Рис. 9. Суммарная выработка электроэнергии РШ за 2021 год: а — Ташкент; б — Москва

5. Определение площадей фотоэлектрических модулей для различных регионов внедрения

Рассчитаем потребную мощность солнечных батарей для последнего рассматриваемого варианта их установки в географических регионах Ташкента и Москвы. Расчет для Москвы выполним для сравнения эффективности применения солнечных батарей с учетом географического расположения Узбекистана.

5.1. Результаты расчетов для первого случая организации сети энергоснабжения

При соединении всех стрелок нечетной горловины рассматриваемой станции в одном РШ суточная потребляемая энергия электроприводов будет равна $E_{вп} = 2822,3$ Вт·ч. Потери напряжения в кабеле зависят от длины кабеля, его сечения и передаваемой по нему мощности. Средние расчетные потери напряжения в кабеле составляют не более 5 % [34].

Выбираем стандартные панели солнечных батарей для каждого региона. Большинство стандартных монокристаллических солнечных панелей достигают мощности более 300 Вт,

а некоторые могут превышать 400 Вт. При расчете в онлайн-калькуляторе выбираем монокристаллическую солнечную панель типа SilaSolar 550 Вт PERC (Twin Power) размером 2279×1134 мм (2,58 м²). Результаты расчета приведены в табл. 5 и на рис. 9.

Для такого результата в Ташкенте понадобилось 2 солнечной панели с мощностями 550 Вт, которые имеют площади 5,16 м², в Москве — 4 солнечных панели с мощностью 550 Вт, которые имеют суммарную площадь 10,32 м². Габаритные размеры релейного шкафа типа ШРУ-М составляют 1735×985×635 мм. Установка солнечных панелей на РШ показана на рис. 10.

При отсутствии возможности установки большого количества солнечных панелей на РШ предлагается установить их рядом (рис. 11).

5.2. Результаты расчетов для второго случая организации сети энергоснабжения

Из табл. 1 видно, что часто переводимые стрелки в нечетной горловине — это 1/1С, 3/3С, 5/5С, 7, 9/11. Они управляются с помощью

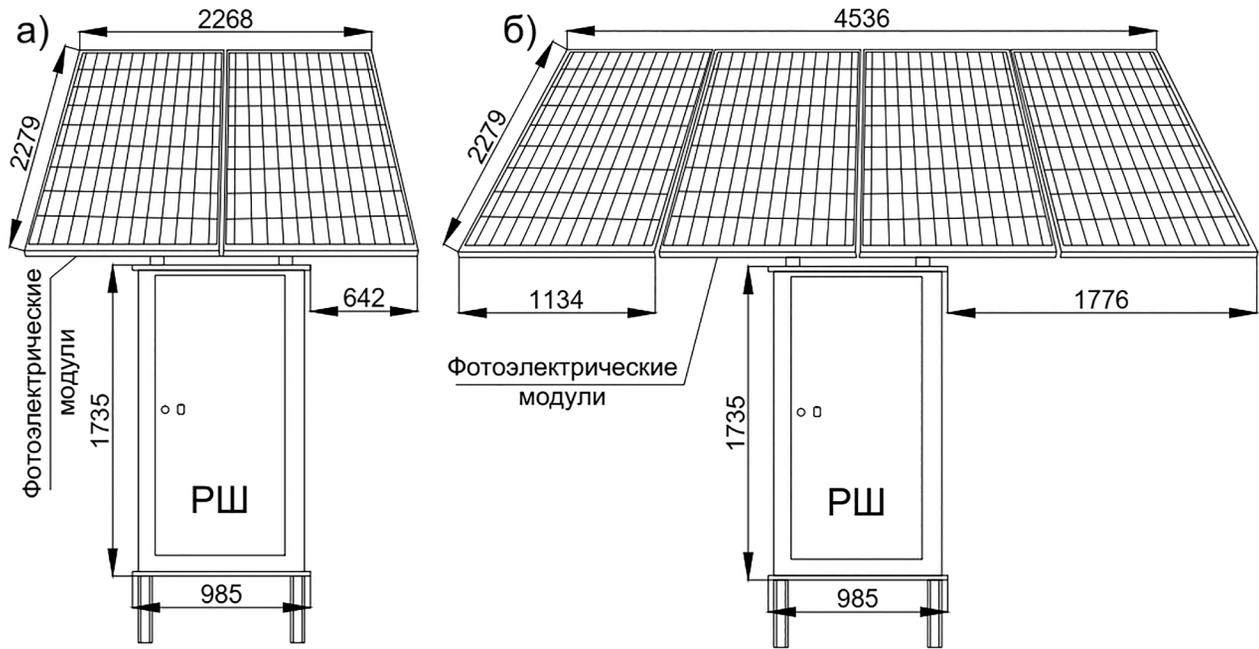


Рис. 10. Пример установки солнечных батарей на РШ (первый случай):
а — Ташкент; б — Москва

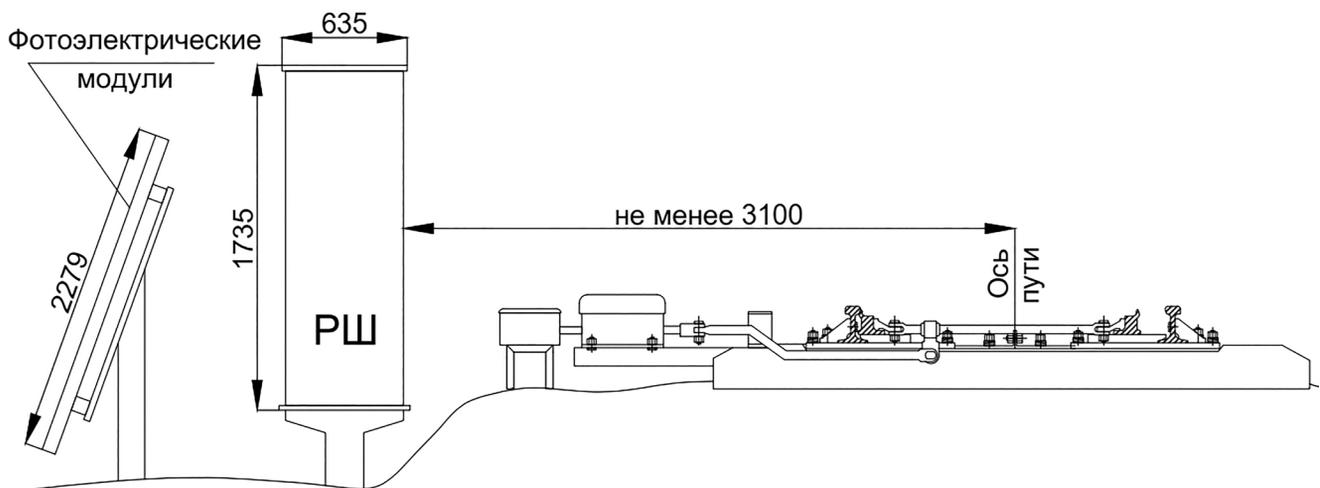


Рис. 11. Пример установки солнечных батарей рядом с РШ

9 электроприводов. При этом суточная потребляемая энергия электроприводов будет равно $E_{\text{вп}} = 1953,9 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$. Кроме того, учитываем 5 % потери напряжения в кабеле.

Выбираем стандартные солнечные панели для каждого региона. Для расчета в онлайн-калькуляторах выбираем две монокристаллических солнечных панели типа SilaSolar 400 Вт PERC (Twin Power) размером $2008 \times 1002 \text{ мм}$ ($2,01 \text{ м}^2$) для Ташкента, а для Москвы 3 монокристаллических солнечных панели типа SilaSolar 550 Вт PERC (Twin Power) размером

$2279 \times 1134 \text{ мм}$ ($2,58 \text{ м}^2$). Результаты расчета приведены в табл. 6 и на рис. 12. Вариант установки солнечных панелей на РШ по второму случаю показан на рис. 13.

5.3. Результаты расчета для редко используемых стрелок

Из табл. 1 следует, что для таких стрелок количество переводов в сутки максимально равно 10. Отсюда можно рассчитать мощность солнечных батарей для стрелок второстепенных путей, тупиков и т. п. При этом

Таблица 6. Мощности, вырабатываемые панелями солнечных батарей при подключении по второму варианту организации кабельной сети

Регион	Зенитный угол	Среднемесячная выработка электроэнергии кВт·ч/сутки												E _{ср.} кВт·ч/сутки	ΣE _{год.} кВт·ч
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		
Ташкент	41°	2,60	3,09	3,83	4,46	4,89	5,22	5,20	5,25	4,99	4,30	3,14	2,37	4,11	1500,75
Москва	56°	2,51	4,39	6,35	6,86	7,99	7,65	7,80	7,04	5,25	3,63	2,53	1,92	5,33	1944,18

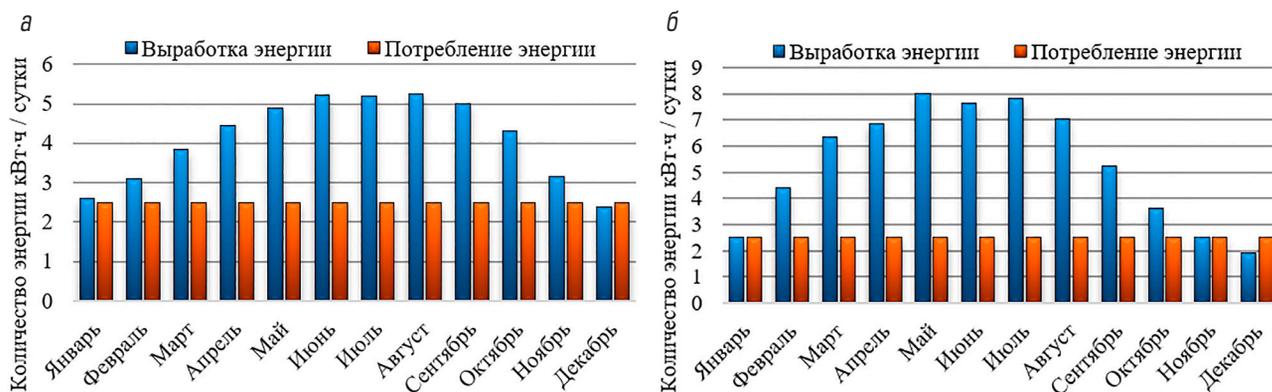


Рис. 12. Суммарная выработка электроэнергии РШ за 2021 год: а — Ташкент; б — Москва

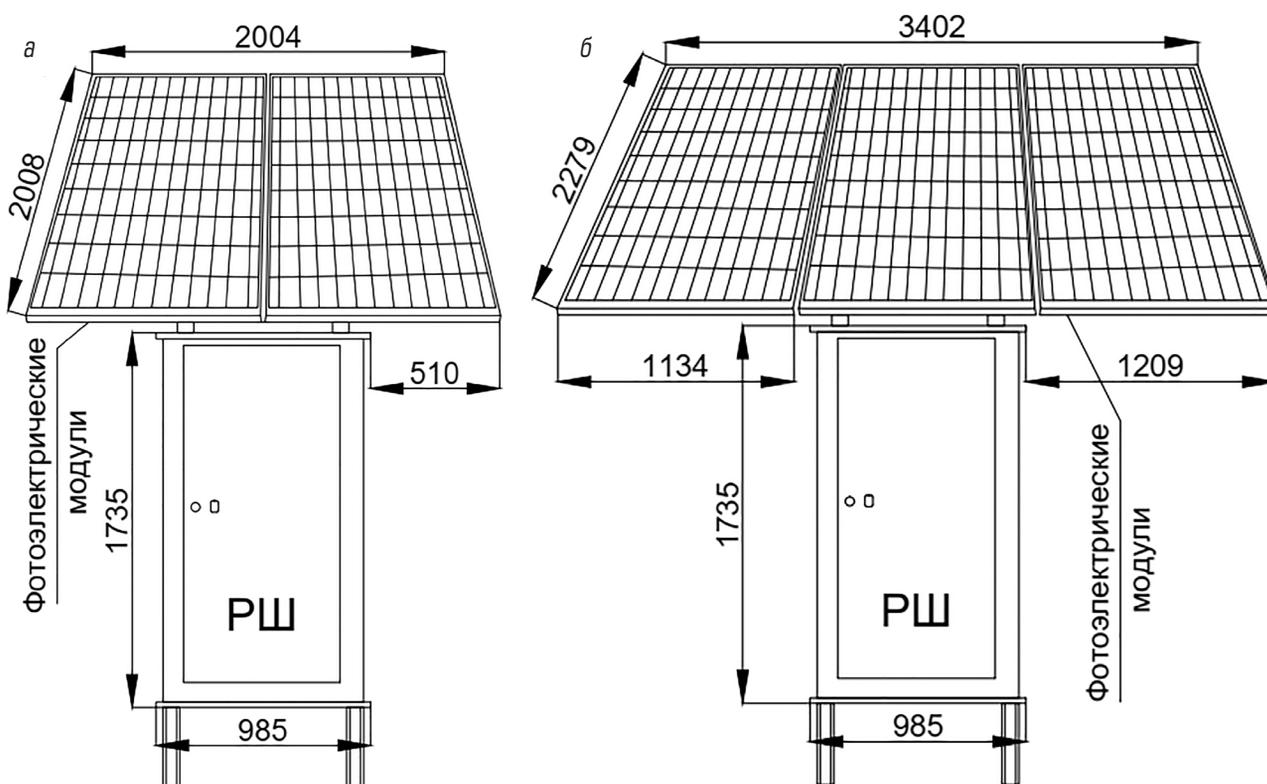


Рис. 13. Пример установки солнечных панелей на РШ (второй случай): а — Ташкент; б — Москва

Таблица 7. Мощности вырабатываемой солнечной энергии при подключении редко переводимых стрелок

Регион	Зенитный угол	Среднемесячная выработка электроэнергии кВт·ч/сутки												E _{ср.} кВт·ч/сутки	ΣE _{год.} кВт·ч
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		
Ташкент	41°	0,25	0,30	0,37	0,43	0,47	0,50	0,50	0,51	0,48	0,42	0,30	0,23	0,40	144,97
Москва	56°	0,24	0,41	0,60	0,64	0,75	0,72	0,73	0,66	0,49	0,34	0,24	0,18	0,50	182,12

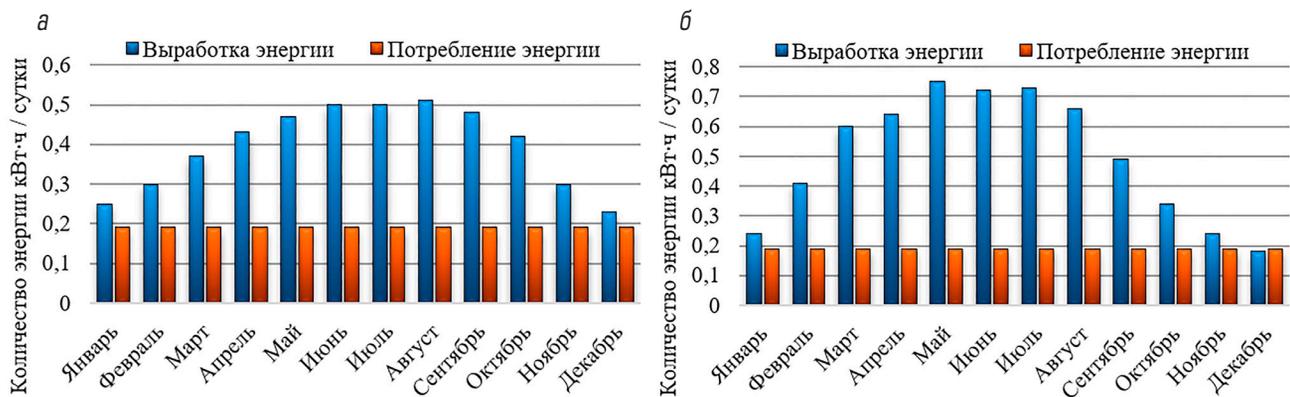


Рис. 14. Суммарная выработка электроэнергии для одной стрелки за 2021 год: а — Ташкент; б — Москва

потребляемая энергия за сутки одной стрелкой равна:

$$E_{\text{раб.ц}} = 10 \cdot 2,5 = 25 \text{ Вт} \cdot \text{ч} ,$$

$$E_{\text{контр.ц}} = 24 \cdot 5,4 = 129,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч} ,$$

$$E_{\text{общ.стр}} = 129,6 + 25 = 154,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч} .$$

В этом случае отсутствует кабельная сеть, поэтому потерями напряжения в кабеле можно пренебречь. При этом суточная потребляемая энергия электропривода $E_{\text{п}} = 154,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$.

Выбираем стандартные солнечные панели для каждого региона. Для расчета выбираем одну монокристаллическую солнечную панель на 60 Вт с площадью 0,5 м² для Ташкента, а для Москвы — 2. Результаты расчета приведены в табл. 7 и на рис. 14.

Заключение

В области энергоснабжения с использованием современных технологий происходит постепенный переход к разработке экологически

чистых энергосистем. Эти технологии также находят применение и на железнодорожном транспорте. Узбекистан обладает, ввиду своего географического положения, благоприятными условиями для использования солнечной энергии, по сравнению с такими городами мира, как Москва. По количеству солнечных дней (более 320) он превосходит многие регионы северного расположения. По мнению автора данной статьи, использование солнечных батарей позволит постепенно перейти на питание устройств напольной автоматики от схем местного энергоснабжения с двойными вводами и дополнительных кабельных вводов к ВИЭ.

Для установки солнечных батарей на объектах железнодорожной инфраструктуры были предложены четыре варианта, каждый из которых может применяться на практике. При этом целесообразно на первом этапе внедрять ВИЭ в сфере железнодорожной автоматики именно на станциях с низкой интенсивностью эксплуатации стрелок. При этом существует несколько вариантов размещения солнечных батарей. Выбор того или иного варианта определяется

эксплуатационными условиями. При этом вариант с групповым энергоснабжением стрелочных электроприводов по горловинам или отдельным районам в горловинах может позволить снизить капиталовложения и эксплуатационные затраты, по сравнению с применением отдельных комплектов для каждого привода.

В статье не анализировался вопрос увязки рабочих и контрольных цепей с коммутационными цепями при подключении питания от солнечной батареи, что является предметом дальнейших исследований.

В заключение следует отметить, что внедрение ВИЭ на железнодорожном транспорте Узбекистана — эволюционный путь развития отрасли и страны в целом. ❧

Библиографический список

1. Соколов В. Н. Общий курс железных дорог: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / В. Н. Соколов, В. Ф. Жуковский, С. В. Котенкова, А. С. Наумов; под ред. В. Н. Соколова. — М.: УМК МПС России, 2002. — 296 с.
2. Ефанов Д. В. Энергоэффективные решения для систем управления на железнодорожном транспорте / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 2(81). С. 16–21.
3. Энергоэффективность. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 25.08.2021).
4. Geletukha G. Analysis of energy strategies of EU and world countries and role of renewables in their energy systems / G. Geletukha, T. Zheliezna, A. Prakhovnik // UABio Position Paper. December 1, 2015. — № 13.
5. Energieperspektiven 2050: Zusammenfassung. — Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. — October 2013. — 36 p.
6. Ефанов Д. В. Интеллектуальный транспорт: на пути к альтернативной энергетике / Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 4. — С. 42.
7. Кушпиль И. В. Использование фотоэлектрических модулей для питания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / И. В. Кушпиль, А. Н. Бут // Автоматика на транспорте. — 2017. — № 2. — С. 202–215.
8. Aguado J. A. Optimal Operation of Electric Railways with Renewable Energy and Electric Storage Systems / J. A. Aguado, A. J. Sanchez-Racero, S. de la Torre // IEEE Transactions on Smart Grid. — 2018. — Vol. 9. — I. 2. — Pp. 993–1001. — DOI: 10.1109/TSG.2016.2574200.
9. Kravchenko O. V. Peculiarities of Application of Helioenergetics for Signaling, Interlocking and Blocking Devices at the Railroad Transport / O. V. Kravchenko, D. Faleev, I. A. Korostelyova // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", 1–2 March 2019, Vladivostok, Russia.
10. Energy Policies of IEA Countries — Germany 2013 Review / Organization For Economic Co-Operation and Development (OECD). — France, 201. — 206 p.
11. Energy Policies of IEA Countries — Sweden 2013 Review / Organization For Economic Co-Operation And Development (OECD), France, 2013, 182 p.
12. Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии: Постановление Президента Республики Узбекистан от 22.08.2019 № ПП-4422. URL: <https://lex.uz/ru/docs/4486127> (дата обращения: 09.10.2021).
13. Рузиев Д. Х. Электроснабжение устройств автоматики и телемеханики / Д. Х. Рузиев // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. — Ташкент: ТГТУ, 2020. — С. 266–269.
14. Ефанов Д. В. Эволюция систем управления на железнодорожном транспорте / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 3. — С. 43–47.
15. 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 и др.; под ред. проф. Вл. В. Сапожникова. — М.: Маршрут, 2005. — 453 с.
16. Список станций АО «Узбекистон темир йуллари». URL: https://www.railway.uz/ru/uslugi/guzovye_perevozki/22/ (по состоянию на 01.02.2021 год, дата обращения: 18.11.2021).
17. Интенсивность движения поездов. URL: <https://lokomotiv.ru/info/intensivnost-dvizheniya-poezdov.html> (дата обращения: 30.11.2021).
18. Ефанов Д. В. Будущее радиоуправляемых стрелок с автономным питанием / Д. В. Ефанов // Мир транспорта. — 2019. — Т. 17. — № 1. — С. 154–163.
19. Основные параметры электродвигателя. URL: <https://agregat.me/information/elektrodvigateli/osnovnyeparametry-elektrodvigatelya> (дата обращения: 02.12.2021).
20. Резников Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. — М.: Транспорт, 1985. — 288 с.
21. Абусеридзе З. В. Дальнейшее совершенствование конструкции и улучшение характеристик коллекторных машин стрелочного перевода / З. В. Абусеридзе // Наука и техника транспорта. — 2009. — № 3. — С. 46–49.
22. Перевод ватт (Вт) в ватт-часы (Вт · ч): URL: <https://microexcel.ru/watt-to-watt-hour/> (дата обращения: 01.12.2021).
23. Расчет мощности солнечных батарей. URL: http://b-eco.ru/articles/calc_power1/ (дата обращения: 09.12.2021).
24. Мощность солнечного излучения в СНГ. URL: http://www.dom-spravka.info/_alt_energo/gl_07_00.html (дата обращения: 09.12.2021).
25. Власенко С. В. Централизованная и децентрализованная архитектура постов управления станциями / С. В. Власенко, С. А. Лунев, М. М. Соколов // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 3. — С. 22–25.
26. Ефанов Д. В. Интеграция систем управления и мониторинга / Д. В. Ефанов // Мир транспорта. — 2020. — Т. 18. — № 1(86). — С. 146–157.
27. Сапожников Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др.; под ред. Вл. В. Сапожникова. — М.: Транспорт, 1997. — 432 с.
28. Рогачева И. Л. Станционные системы автоматики: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / И. Л. Рогачева, А. А. Варламова, А. В. Леонтьев; под ред. И. Л. Рогачевой. —

- М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. — 411 с.
29. Efanov D. Paradigms for Building Control Systems on Railroad Transport: from the Systems of Electrical Interlocking of Points and Light Signals to Smart Grid Train Movements Controlling Systems / D. Efanov, G. Osadchy // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018). — Kazan, Russia, September 14–17, 2018. — Pp. 213–220. — DOI: 10.1109 / EWDTS.2018. 8524809.
 30. Efanow D. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations / D. W. Efanow, G. W. Osadtschiy // Signal+ Draht. — 2020 (112). — I. 4. — Pp. 36–42.
 31. Ефанов Д. В. «Зеленые» технологии на железнодорожном транспорте / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 12. — С. 13–16. — DOI: 10.34649/AT.2019.12.12.003.
 32. Efanov D. V. Green Technologies for Management on Railroad Transportation / D. V. Efanov, G. V. Osadchiy, D. G. Plotnikov et al. // E3S Web of Conferences. — International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering (CONMECHYDRO'2021). — Tashkent, Uzbekistan, April 1–3, 2021. — Vol. 264, 2021. Pp. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404058>.
 33. Ефанов Д. В. Особенности реализации технических средств перевода железнодорожных стрелок с двойным энергоснабжением / Д. В. Ефанов, Д. Х. Рузиев; под общ. ред. М. Г. Яшина // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. Проблемы и решения: сборник трудов международной научно-практической конференции, 18–19 мая 2021 г. — Санкт-Петербург, Петергоф: ВИ (ЖДВ и ВОСО). — С. 68–78.
 34. Дмитриев В. Р. Электропитающие устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: справочник / В. Р. Дмитриев, В. И. Смирнова. — М.: Транспорт, 1983. — 248 с.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 1, pp. 48–66
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-01-48-66

The Use of Solar Batteries at Power Supply of Turnout Electric Drives on the Example of Uzbekistan Railways

Information about authors

Ruziyev D. K., PhD student. E-mail: ruziyevddd@gmail.com

¹ Russian University of Transport (MIIT), Department of Automatics, Remote Control and Communication on Railway Transport, Moscow

Abstract: The article is devoted to the research of possibilities to apply solar batteries at power supply of devices of railway automatics and telemechanics in view of geographical position of Uzbekistan. The attention in the research is focused on the questions of energy-effective control of turnout electric drives from solar batteries on intermediate stations. On the example of “Sabir Rakhimov” station, the assessment of average-daily quantity of turnout switches has been made, the calculation of utilized quantity of electric energy for turnout electric drives has been pursued as well as the possibilities of this energy replenishment from solar batteries have been defined. The change in solar battery power in different countries on one and the same type stations has been analyzed. The advantages of alternative energetics for the needs of railway automatics and telemechanics have been described. The calculation of the efficiency of the devices of autonomous electric supply system for last 20 years has been pursued on the basis of statistical data on insolation of Tashkent and Moscow territories (for comparison). The technologies of the location of solar batteries on railway infrastructure objects have been presented. Special attention is paid on perspectives of wide industrial introduction of solar batteries for the energy supply of the devices of railway automatics and remote control.

Key words: energy effectiveness of railway transport; train traffic intensity; turnout switch; electric device; renewable energy sources; alternative energy sources; solar battery; photoelectric module; insolation coefficient.

References

1. Sokolov V. N., Zhukovskiy V. F., Kotenkova S. V., Naumov A. S. *Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [General course of railways]. Moscow: UMK MPS Rossii Publ., 2002. 296 p.
2. Efanov D. V., Osadchiy G. V. Energoeffektivnye resheniya dlya sistem upravleniya na zhelez-nodorozhnom transporte [Energy efficient solutions for control systems in railway transport]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2019, I. 2 (81), pp. 16–21.
3. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (accessed 25 August 2021).
4. Geletukha G., Zheliezna T., Prakhovnik A. Analysis of energy strategies of EU and world countries and role of renewables in their energy systems// UABio Position Paper. I. 13. December 1, 2015.
5. Energieperspektiven 2050: Zusammen-fassung. — Eidgenossisches Department fur, Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Oktober 2013, 36 s.
6. Efanov D. V. *Intellektual'nyy transport: na puti k al'ternativnoy energetike* [Intelligent transport: on the way to alternative energy]. *Avtomatika, Svyaz', Informatika* [Automation, Communication, Informatics]. 4-2019, p. 42.
7. Kushpil' I. V., But A. N. *Ispol'zovanie fotoelektricheskikh moduley dlya pitaniya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Use of photoelectric modules to power devices of railway automation and telemechanics]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2017, I. 2, pp. 202–215.
8. Aguado J. A., Sanchez-Racero A. J., de la Torre S. Optimal Operation of Electric Railways with Renewable Energy and Electric Storage Systems // IEEE Transactions on Smart Grid. — 2018. — Vol. 9. — I. 2. — Pp. 993–1001. — DOI: 10.1109/TSG.2016.2574200.
9. Kravchenko O. V., Faleev D., Korostelyova I. A. Peculiarities of Application of Helioenergetics for Signaling, Interlocking and Blocking Devices at the Railroad Transport // 2019 International Science and Technology Conference “EastConf”, 1–2 March 2019, Vladivostok, Russia, 10.1109/EastConf.2019.8725360.
10. Energy Policies of IEA Countries — Germany 2013 Review/ Organization For Economic Co-Operation and Development (OECD), France, 2013, 206 p.
11. Energy Policies of IEA Countries — Sweden 2013 Review / Organization For Economic Co-Operation And Development (OECD), France, 2013, 182 p.
12. *Ob uskorennykh merakh po povysheniyu energoeffektivnosti otrasley ekonomiki i sotsial'noy sfery, vnedreniyu energosberegayushchikh tekhnologiy i razvitiyu vobnovlyаемых is-tochnikov energii: postanovlenie Prezidenta Respubliki Uzbekistan, ot 22.08.2019 g. № PP-4422* [On accelerated measures to improve the energy efficiency of economic sectors and the social sphere, the introduction of energy-saving technologies and the development of renewable energy sources: Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, dated August 22, 2019 No. PP-4422]. Available at: <https://lex.uz/ru/docs/4486127> (accessed 09 October 2021).

13. Ruziev D. Kh. Elektrosnabzhenie ustroystv avtomatiki i telemekhaniki [Power supply of automation and telemechanics devices]. *Resursosberegayushchie tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte* [Resource-saving technologies in railway transport]. Tashkent "TG TU" Publ., 2020, pp. 266–269.
14. Efanov D. V., Osadchiy G. V. Evolyutsiya sistem upravleniya na zheleznodorozhnom transporte [Evolution of control systems in railway transport]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2018, I. 3, pp. 43–47.
15. Sapozhnikov VI. V., Kovalev N. P., Kononov V. A., Kostrominov A. M., Sergeev B. S. *Elektro-pitanie ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi* [Power supply of devices of railway automation, telemechanics and communication: Textbook for high schools railway. transport]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 453 p.
16. *Spisok stantsiy AO "Uzbekiston temir yullari"* [List of stations of JSC "Uzbekiston temir yullari"]. Available at: https://www.railway.uz/ru/uslugi/gruzovye_perevozki/22/ (accessed 18 November 2021).
17. *Intensivnost' dvizheniya poezdov* [Intensity of train traffic]. Available at: <https://lokomu.ru/info/intensivnost-dvizheniya-poezdov.html> (accessed 30 November 2021).
18. Efanov D. V. Budushchee radioupravlyaemykh strelok s avtonomnym pitaniem [The future of radio-controlled arrows with autonomous power supply]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2019, V. 17, I. 1, pp. 154–163.
19. *Osnovnye parametry elektrodvigatelya* [Basic parameters of the electric motor]. Available at: <https://agregat.me/information/elektrodvigateli/osnovnye-parametry-elektrodvigatelya> (accessed 02 December 2021).
20. Reznikov Yu. M. *Elektroprivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automation and telemechanics]. Moscow: Transport, 1985. 288 p.
21. Abuseridze Z. V. Dal'neyshee sovershenstvovanie konstruksii i uluchshenie kharakteristik kollektornykh mashin strelochnogo perevoda [Further improvement of the design and improvement of the characteristics of the collector machines of the turnout]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of Transport]. 2009, I. 3, pp. 46–49.
22. *Perevod vatt (Vt) v vatt-chasy (Vt-ch)* [Converting watts (W) to watt-hours (W·h)]. Available at: <https://microexcel.ru/watt-to-watt-hour/> (accessed 01 December 2021).
23. *Raschet moshchnosti solnechnykh batarey* [Calculation of the power of solar batteries]. Available at: http://b-eco.ru/articles/calc_power1/ (accessed 09 December 2021).
24. *Moshchnost' solnechnogo izlucheniya v SNG* [The power of solar radiation in the CIS]. Available at: http://www.dom-spravka.info/_alt_energo/gl_07_00.html (accessed 09 December 2021).
25. Vlasenko S. V., Lunev S. A., Sokolov M. M. Tsentralizovannaya i detsentralizovannaya arkhitekturnaya postov upravleniya stantsiyami [Centralized and decentralized architecture of station control posts]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2019, I. 3, pp. 22–25.
26. Efanov D. V. Integratsiya sistem upravleniya i monitoringa [Integration of control and monitoring systems]. *Mir transporta* [World of transport]. 2020, V. 18, I. 1 (86), pp. 146–157.
27. Sapozhnikov VI. V. *Stantsionnye sistemy avtomatiki i telemekhaniki* [Station systems of automation and telemechanics]. Moscow: Transport Publ., 1997. 432 p.
28. Rogacheva I. L., Varlamova A. A., Leont'ev A. V. *Stantsionnye sistemy avtomatiki* [Station automation systems]. Moscow: GOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte» Publ., 2007. 411 p.
29. Efanov D., Osadchiy G. Paradigms for Building Control Systems on Railroad Transport: from the Systems of Electrical Interlocking of Points and Light Signals to Smart Grid Train Movements Controlling Systems // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 213–220, doi: 10.1109 / EWDTS.2018. 8524809.
30. Efanov D. W., Osadchiy G. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations // Signal+Draht. — 2020 (112). — I. 4. — Pp. 36–42.
31. Efanov D. V., Osadchiy G. V. «Zelenye» tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte ["Green" technologies in railway transport]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2019, I. 12, pp. 13–16. — DOI: 10.34649/AT.2019.12.12.003.
32. Efanov D. V., Osadchiy G. V., Plotnikov D. G., Banite A. V., Norov B. K., Ruziev D. Kh. Green Technologies for Management on Railroad Transportation // E3S Web of Conferences, Vol. 264, 2021, International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics & Water Resources Engineering (CONMECHYDRO'2021), Tashkent, Uzbekistan, April 1–3, 2021, pp. 1–8, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404058>.
33. Efanov D. V., Ruziev D. Kh. Osobennosti realizatsii tekhnicheskikh sredstv perevoda zheleznodorozhnykh strelok s dvoynym energosnabzheniem [Features of the implementation of technical means of transferring railway switches with dual power supply]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnaya zheleznaya doroga. Noveyshie i perspektivnye sistemy obespecheniya dvizheniya poezdov. Problemy i resheniya», pod obshchey redaktsiyey Yashina M.G., 18-19 maya 2021 g.* [Proceedings of the international scientific and practical conference "Innovative Railway. The latest and promising systems for ensuring the movement of trains. Problems and Solutions", under the general editorship of Yashin M.G., May 18–19, 2021]. Sankt-Peterburg, Petergof: VI (ZhDV i VOSO) Publ., pp. 68–78.
34. Dmitriev V. R., Smirnova V. I. *Elektropitayushchie ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi* [Power supply devices for railway automation, telemechanics and communications]. Moscow: Transport Publ., 1983. 248 p.