

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/97TVN416.pdf>

Статья опубликована 08.09.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сурков М.А., Обухов С.Г., Плотников И.А., Сумарокова Л.П., Попов М.М., Байдали С.А. Оценка целесообразности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения удаленных потребителей в климатических условиях Севера Российской Федерации // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/97TVN416.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования и науки Российской Федерации (контракт № 02.G25.31.0190)

УДК 620.92(075.8)

Сурков Михаил Александрович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск¹

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: masur@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=551921

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56251888800>

Обухов Сергей Геннадьевич

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск

Доктор технических наук, доцент

E-mail: serob@tpu.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=398572

Плотников Игорь Александрович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: igorplt@tpu.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=724730

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56260876800>

Сумарокова Людмила Петровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: sumarok@tpu.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=649824

Попов Михаил Михайлович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск

Ассистент

E-mail: mix_mix13@tpu.ru

Байдали Сергей Анатольевич

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: basa@tpu.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=520943

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56426370000>

¹ 634050, г. Томск, ул. Усова, д. 7

Оценка целесообразности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения удаленных потребителей в климатических условиях Севера Российской Федерации

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения фотоэлектрических электростанций для электроснабжения удаленных потребителей в Северных территориях Российской Федерации. Показана перспективность и экономическая целесообразность комбинирования источников ВИЭ с уже существующими дизельными электростанциями.

В работе использованы реальные данные по существующим удаленным потребителям электрической энергии, текущие тарифы и современные графики электрических нагрузок.

Дан обзор состояния и перспектив развития солнечной энергетики в России, проведен комплексный анализ гелиоэнергетических ресурсов территории Томской области с точки зрения замещения дорогостоящей генерации электрической энергии от дизель-генераторных установок.

На основании базы данных NASA по приходу солнечной радиации на земную поверхность, результатов расчетов среднечасовых и среднесуточных данных для исследуемого региона рассчитано количество электроэнергии, вырабатываемой электростанцией за год на примере фотоэлектростанции с максимальной установленной мощностью 25 кВт.

Проведен технико-экономический расчет эффективности использования фотоэлектростанции, работающей автономно в климатических условиях Томской области, сделаны выводы об эффективности использования фотоэлектростанций, дизельных электростанций и гибридных электростанций (фотоэлектрические установки, функционирующие совместно с дизельными электроустановками на единую нагрузку) в климатических условиях Томской области.

Ключевые слова: гибридная система; фотоэлектростанция; дизель-генератор; автономный; децентрализованный; оценка возможностей; солнечная; энергия; аккумуляторы; удаленные потребители

При нынешнем уровне научно-технического прогресса потребление электроэнергии возможно покрыть исключительно за счет органического топлива (газ, нефть, уголь), атомной энергии и энергии крупных гидроэлектростанций. Вышеуказанные источники энергии имеют свои недостатки: низкая экологичность в месте эксплуатации и исчерпаемость энергоресурса (кроме гидроэлектростанций), что не гарантирует покрытие возрастающих потребностей мировой энергетики и накладывает дополнительные требования с точки зрения безопасности эксплуатации.

Оглядываясь назад и оценив путь, пройденный возобновляемой энергетикой за последние 30 лет, становится очевидно – значительная часть потребностей в электроэнергии может быть удовлетворена за счет альтернативных источников энергии, использующих возобновляемые энергоресурсы (ВИЭ) уже на текущем этапе развития науки и техники.

Мировые объемы использования ВИЭ увеличиваются ежегодно. Наблюдается установившаяся тенденция к росту доли выработки энергии от нетрадиционных источников в энергобалансе стран. Различные прогнозные оценки доли потребления к 2020 году достигают 40%. И если о темпах роста можно дискутировать, то факт роста потребления возобновляемых энергоресурсов уже не подвергается сомнению. [14] Так например

установленная мощность ВИЭ в Германии в 2015 году уже сравнялась с пиковой потребностью страны в электрической энергии.

Для стран с недостаточно развитой инфраструктурой использование ВИЭ один из путей создания более комфортных социально-бытовых условий для населения, перспектива перевода промышленности на экологически приемлемый путь развития.

В глобальном масштабе, применение ВЭИ позволит достичь снижения эмиссии парниковых газов, снижения зависимости от ископаемого топлива и, в результате, снижения рисков глобального энергетического и экономического кризисов.

Современное состояние энергетики и необходимость разработки новых энергетических технологий, позволяющих повысить энергообеспеченность производства, минимизировать воздействие на окружающую среду, развить малые и средние хозяйства и предприятия, нуждающиеся в автономных энергоисточниках способствовало выделению ВИЭ в отдельное направление науки и техники.

На территории России в качестве таких энергоресурсов наиболее актуально рассматривать использование энергии ветра, малых и горных рек, солнечной радиации, геотермальной энергии, использование отходов сельскохозяйственных и лесоперерабатывающих производств для получения горючего биогаза. Это особенно актуально не только для России, но и ближайших её соседей Казахстана и Монголии, с их огромными территориями, низкой удельной плотностью электрических нагрузок и разнообразием природно-климатических условий.

Объемы и темпы освоения ВИЭ в России значительно отстают от развитых и многих развивающихся стран. При целевом показателе по освоению возобновляемых источников энергии в 4,5% вклад, по экспертным оценкам, не превышает 1%. [13, 6]

Одними из основных сдерживающих факторов внедрения ВИЭ в нашей стране являются:

- высокие удельные капитальные вложения при строительстве;
- непостоянство первичного энергоносителя во времени;
- низкая удельная плотность энергоносителя;
- недостаточно проработанная или отсутствующая нормативная база, регламентирующая проектирование, подключение и эксплуатацию ВИЭ.

Основными принципами использования возобновляемых источников энергии являются: эффективное управление ресурсами и энергетическими объектами, создание комплексов, объединяющих несколько энергетических установок различного типа (ВЭС, ГЭС, СЭС, миниКЭС и т.д.).

В климатических условиях России можно использовать энергию Солнца и энергию ветровых потоков. К благоприятным по использованию солнечной энергии районам можно отнести Бурятию, Тыву, Приморье и юг Иркутской области. По поступающей солнечной радиации они схожи с европейскими странами, где условия для эффективного использования солнечной энергии считают благоприятными, даже не смотря на ограничения и дополнительные требования к конструкции установок, связанные с более холодным климатом.

При строительстве солнечных электростанций на первый план выходит экономическая целесообразность, ведь основные потребители находятся на севере страны и пользуются дешевой энергией на базе ископаемого топлива. Высокая стоимость производимой

электроэнергии — это излишняя нагрузка на бюджет страны. На сегодняшний день продвижение систем индивидуального энергоснабжения с возможностью продажи излишков в центральную энергосеть является более экономически-целесообразным, чем строительство коммерческих электростанций в южной области России.

Продолжительность солнечного сияния в течение года примерно одинакова по всем регионам и составляет 4000÷5000 часов. Суммарная солнечная радиация изменяется от севера к югу в пределах 4200÷5500 МДж/м. Наличие значительного потенциала солнечной энергии делает возможным его экономическое использование в Западной Сибири.

Средняя стоимость генерации теплоэнергии на модернизированных котельных (использующих дешевые местные дрова или уголь в качестве топлива) оценивается примерно от 4 до 10 тыс. рублей за Гкал. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой дизельными электростанциями, составляет от 8 до 120 рублей за кВт·ч, в зависимости от сложности транспортной логистики и мощности потребителей, при этом среднее значение стоимости генерации достигает 30 рублей за кВт·ч и имеет устойчивую тенденцию к росту. Учитывая потребности по модернизации существующих электростанций и котельных, их физический и моральных износ, вопрос поиска альтернативных решений по обеспечению тепло- и электроэнергией населения и предприятий в удаленных районах стоит очень остро.

На основе прогнозируемого роста спроса электроэнергии и износа существующих электростанций, ожидается, что тариф на электроэнергию в удаленных районах будет возрастать не менее 10-15 процентов ежегодно, как следствие дефицита поставок и предельных стоимостей при производстве электроэнергии на новых станциях. Данный факт уже представляет возобновляемую энергетику, как коммерчески конкурентоспособную альтернативу, в особенности для небольших удаленных населенных пунктов, не имеющих в настоящее время надежных источников электроэнергии.

Солнечная энергетика в России в ближайшее время будет развиваться за счет как малоформатных солнечных электростанций индивидуального частного или промышленного использования (15-150 кВт), так и более крупных (1 МВт и более) для обеспечения энергией удаленных районов и повышения стабильности слабых сетей электроснабжения.

Далее, для оценки солнечного излучения в Томской области, произведен расчет среднечасового прихода солнечного излучения на произвольно-ориентированную приемную площадку. Используя базы данных NASA по приходу солнечной радиации на земную поверхность для летнего и зимнего дня (табл. 1) произведен расчет количества вырабатываемой электроэнергии по формуле (1).

Выбираем солнечную панель типа HG-255S компании Гимин. Стандартная монокристаллическая панель в алюминиевой раме от лидера мировой солнечной индустрии – компании Гимин Групп. Высокое качество изготовления, очень высокое для монокристаллических элементов КПД – 15,7% поступающей энергии солнца преобразуется в электрическую. Панели этого производителя отличает большой срок службы. Первые 25 лет панель работает с мощностью 90-100%, следующие 20 лет с мощностью 80-90%. При этом температурный диапазон работы фотоэлектрических элементов от -40 до +85°C.

Количество вырабатываемой электроэнергии одной солнечной панелью (СП):

$$W_{СП} = \eta \cdot \mathcal{E}_{\Sigma}^{P\gamma} \cdot S_{СП}, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (1)$$

где: η – КПД солнечной панели, $\eta=0,65$; $S_{СП}$ – площадь солнечной панели, м².

Результаты расчета электроэнергии, вырабатываемой от одной солнечной панели, в летний и зимний день сведены в таблицу 2.

Таблица 1

Данные по солнечной радиации в Томской области для произвольно ориентированной поверхности для 21.06 и 21.12 (составлена авторами)

время, час	21.06		21.12	
	$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\Gamma}$	$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta\gamma}$	$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\Gamma}$	$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta\gamma}$
1				
2				
3				
4				
5				
6	0.22	0.10		
7	0.31	0.25		
8	0.39	0.38		
9	0.46	0.50	0.02	0.45
10	0.51	0.59	0.07	0.53
11	0.55	0.64	0.10	0.58
12	0.56	0.66	0.11	0.59
13	0.55	0.64	0.10	0.58
14	0.51	0.59	0.07	0.53
15	0.46	0.50	0.02	0.45
16	0.39	0.38		
17	0.31	0.25		
18	0.22	0.10		
19				
20				
21				
22				
23				
24				

Известно, что солнечные электростанции генерируют электроэнергию днем, в то время, как огромная потребность в электричестве возникает как раз таки в вечерние часы. Это значит, что без аккумуляторов солнечные электростанции не будут эффективны [1, 2].

Чтобы определить количество аккумуляторных батарей (АКБ) необходимо рассчитать потребление электроэнергии в ночное время суток. Для этого построим график нагрузок для характерных суток зимнего и летнего периода (рисунок 1). [6]

Таблица 2

Вырабатываемая энергия одной солнечной панелью (составлена авторами)

время, час	$W_{\text{сп.зима}}$, кВт·ч	$W_{\text{сп.лето}}$, кВт·ч
1		
2		
3		
4		
5		
6		0.03
7		0.06
8		0.10
9	0.11	0.13

время, час	$W_{\text{сп.зима}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{сп.лето}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$
10	0.13	0.15
11	0.15	0.17
12	0.15	0.17
13	0.15	0.17
14	0.13	0.15
15	0.11	0.13
16		0.10
17		0.06
18		0.03
19		
20		
21		
22		
23		
24		

Исходя из графиков нагрузок [5] рассчитали суточное, дневное и ночное потребление электроэнергии. Результаты показаны в таблице 3.

Таблица 3

Суточное, дневное и ночное потребление электроэнергии (составлена авторами)

Сезон	$W_{\text{сут}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{день}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{ночь}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$
Зима	256,25	70	186,25
Лето	216,25	107,5	108,75

Необходимое количество аккумуляторных батарей для покрытия ночного потребления можно рассчитать по следующей формуле [7]:

$$N = \frac{W_{\text{ночь}}}{\eta \cdot C_{\text{акб}}}, \quad (2)$$

где: $W_{\text{ночь}}$ – энергия потребляемая в ночное время суток, η – КПД аккумуляторной батареи, берем равным 0,65. $C_{\text{акб}}$ – номинальная емкость АКБ.

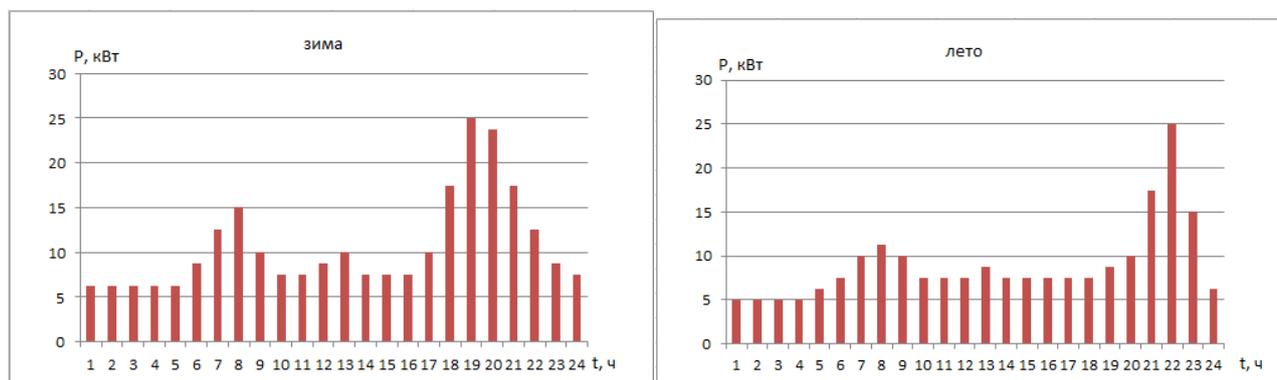


Рисунок 1. Характерные суточные графики нагрузки за зимние и летние сутки (разработан авторами)

Зимой необходимо 120, а летом 70 шт. АКБ. [12]

Далее произведен расчет энергии, получаемой одной АКБ (3). Все расчеты сведены в таблицу 4.

$$P_{св} = \eta \cdot \frac{W_{сп}}{U_{акб} \cdot C_{акб} \cdot N}, \text{ о.е.} \quad (3)$$

где: $P_{св}$ – свободная мощность от СП, $W_{сп}$ – избыток энергии, $U_{акб}$ – номинальное напряжение АКБ, N – количество аккумуляторных батарей.

Энергию, которую может потребить АКБ можно рассчитать по следующей формуле:

$$W_{потр АКБ} = \frac{P_{потр АКБ}}{C_{ном} \cdot U_{ном}}, \quad (4)$$

где $P_{потр АКБ}$ – мощность потребляемая АКБ при текущей емкости.

Из расчета видно, что для зарядки АКБ и покрытия дневной нагрузки зимой необходимо 450, а летом 270 солнечных панелей.

Таблица 4

**Балансы электрической энергии в автономной системе электроснабжения
(составлена авторами)**

зима			лето		
Свободная мощность от СП, о.е.	Потребляемая энергия АКБ, о.е.	Заряд АКБ, о.е.	Свободная мощность от СП, о.е.	Потребляемая энергия АКБ, о.е.	Заряд АКБ, о.е.
0.10	0.10	0.40	0.00	0.10	0.30
0.11	0.12	0.50	0.03	0.09	0.33
0.12	0.11	0.61	0.06	0.11	0.39
0.13	0.09	0.70	0.09	0.12	0.48
0.13	0.07	0.78	0.13	0.11	0.59
0.12	0.06	0.84	0.14	0.09	0.69
0.10	0.05	0.89	0.15	0.08	0.77
			0.14	0.06	0.83
			0.13	0.05	0.88
			0.10	0.04	0.92

Наиболее широко используемая на практике и распространенная формула, позволяющая пересчитывать приход среднесуточной солнечной радиации с горизонтальной приемной площадки на наклоненную к югу приемную площадку при азимуте приемной площадки γ не более $\pm 45^\circ$ в любой точке $A(\varphi, \psi)$ так называемая формула С.А. Клейна [3, 4].

В соответствие с методом С.А. Клейна $\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta}(\Delta t)$, где интервалы времени Δt равно 1 суткам, можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta}(\Delta t) = \mathcal{E}_{\Sigma}^{\gamma}(\Delta t) K_{\Sigma}^{\beta}, \quad (5)$$

где K_{Σ}^{β} , о.е. – эмпирический коэффициент С.А. Клейна, зависящий от многих факторов.

Значения суточного прихода суммарной солнечной радиации на горизонтальную площадку берем из программы RETScreen. Ниже (таблица 5) представлены значения суточной суммарной солнечной радиации на горизонтальную $\mathcal{E}_{\Sigma}^{\gamma}$ и произвольно ориентированную $\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta}$ приемные площадки.

Таблица 5
Солнечная радиация поступающая на горизонтальную и наклонную площадку
(составлена авторами)

месяц	янв	фев	март	апр	май	июнь	июль	авг	сент	окт	нояб	дек
$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\alpha}$, кВт·ч/м ²	0,69	1,59	2,94	4,29	5,48	5,79	5,8	4,55	2,83	1,58	0,83	0,46
$\mathcal{E}_{\Sigma}^{\beta}$, кВт·ч/м ²	2,12	2,92	3,37	2,81	7,84	7,39	7,74	7,36	6,54	2,41	2,17	1,69

Экономическая эффективность использования фотоэлектрических преобразователей энергии в данной работе производится по сопоставлению традиционных и нетрадиционных источников методом сравнительной эффективности. [8]

Суть этого метода заключается в сравнении затрат на сооружение и эксплуатацию объекта энергообеспечения, при разных источниках энергии и равном энергетическом эффекте. [8] По данной методике общей экономической характеристикой для различных вариантов энергоустановок являются приведенные затраты, найденные в соответствии с типовой методикой эффективности капитальных вложений.

Рассчитаем три варианта электроснабжения: 1 электроснабжение от солнечной электростанции (СЭС); 2 от дизельного генератора (ДЭС); 3 и от гибридной станции (СЭС и ДЭС).

Приведенные затраты для СЭС можно определить по выражению [8]:

$$Z = E_n \cdot K, \quad (6)$$

где: K – единовременные капитальные вложения, руб.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год.

Себестоимость электроэнергии определим по следующей формуле:

$$C_{ээ} = \frac{z}{W_{сэп}}, \quad (7)$$

где $W_{сэп}$ – энергия, вырабатываемая электростанцией за год, кВт·ч.

$$K_{сэп} = C_{сп} + C_{акб} + C_{инв} + C_{конт} \quad (8)$$

где: $C_{сп}$, $C_{акб}$, $C_{инв}$, $C_{конт}$ – соответственно стоимость солнечных панелей, аккумуляторных батарей, инвертора и контроллера заряда. $C_{сп}=30\ 600$ р; $C_{акб}=17\ 580$ р; $C_{инв}=220\ 000$ р, $C_{конт}=160\ 000$ р.

Для ВИЭ величину E_n можно принять равной 0,12.

Расчет приведенных затрат для ДЭС проводится по следующему выражению:

$$Z = E_n \cdot K + I + C_T \cdot G, \quad (9)$$

где: I – годовые эксплуатационные издержки, руб./год; C_T – стоимость дизельного топлива, руб./т $C_T=450\ 000$ руб./т; [10] G – расход топлива, т/год.

Расход топлива ДЭС рассчитываем по методике предложенной на кафедре ЭПП Энергетического института Томского политехнического университета [9, 11].

Капитальные вложения:

$$K_{дэс} = C_{дг} + C_{пр} + C_{стр} \quad (10)$$

где: $C_{дг}$ – стоимость дизельного генератора, $C_{дг}=322\ 000$ р; $C_{пр}$ – стоимость проектных работ; $C_{стр}$ – стоимость строительных работ.

Дизельный генератор выбирается по максимальной мощности нагрузки, чтоб в пиковые часы покрыть ее полностью. Выбрали дизельный генератор типа АД 30-Т400.

Суммарные годовые издержки [8] можно определить как:

$$I = \alpha \cdot K \quad (11)$$

где α – нормы отчисления на амортизацию, текущий ремонт и т.д. Для дизельной установки α будет равным – 0,06 [8].

Результаты технико-экономических расчетов (ТЭР) для Томской области приведены в таблице 6, 7 и рисунке 2. Цена за топливо учитывает затраты на доставку до места назначения. Не учтены затраты на постройку помещения для хранения топлива и АКБ.

Таблица 6
Результат расчетов ТЭР для Томской области (составлена авторами)

	СЭС	СЭС и ДЭС	ДЭС
Количество СП, шт.	450	270	0
Количество АКБ, шт.	120	70	0
Количество ДЭС, шт.	0	1	1
Количество топлива, т	0	5,3	38,9
Приведенные затраты, З, руб.	3081528	2516920.5	3008561.25

Таблица 7
Себестоимость электроэнергии в Томской области (составлена авторами)

	СЭС	СЭС и ДЭС	ДЭС
Себестоимость электроэнергии, $C_{ээ}$, руб./кВт·ч	36.23	29.59	35.37

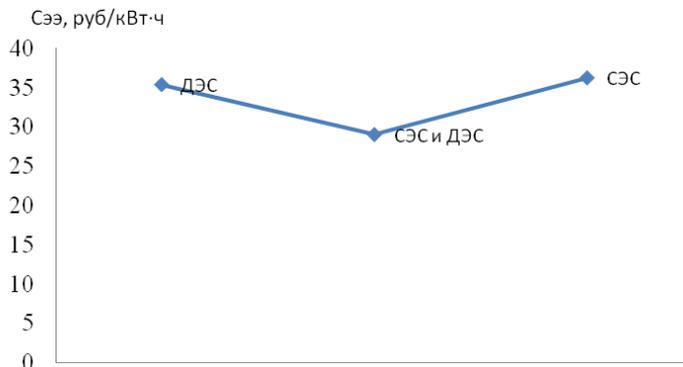


Рисунок 2 График сравнения себестоимости электроэнергии для Томской области (составлен авторами)

Как видно из графика для Томской области целесообразно использовать как источник питания СЭС и ДЭС.

Для сравнения рассчитаем себестоимость электроэнергии при КПД аккумулятора 0,75. Результаты расчетов сведены в таблицу 8 и рисунок 3.

Таблица 8
Себестоимость электроэнергии в Томской области при КПД АКБ=0,75 (разработана авторами)

	СЭС	СЭС и ДЭС	ДЭС
Приведенные затраты, З, руб.	2476933.2	2136841.5	3008561.25
Себестоимость электроэнергии, $C_{ээ}$, руб./кВт·ч	29.12	25.12	35.37

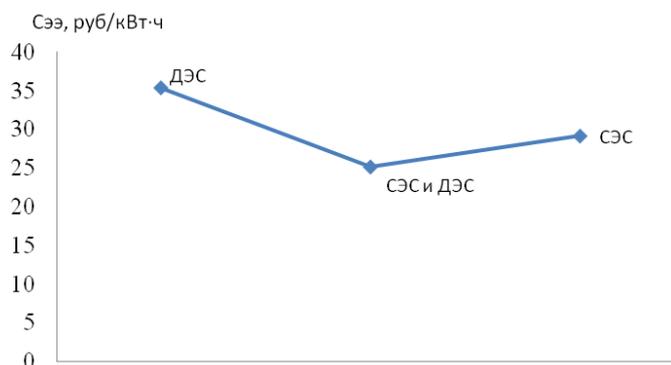


Рисунок 3. График сравнения себестоимости электроэнергии для Томской области при $КПД_{акб}=0,75$ (составлен авторами)

Заключение

Совокупная мощность солнечных электростанций в мире в последующие годы будет стремительно наращиваться. Коммерческая эффективность солнечной энергии с развитием «солнечных» технологий и повышением эффективности преобразования солнечного света будет только увеличиваться.

К сожалению, Россия имеет весьма скромный потенциал развития в рамках использования солнечного излучения, тем не менее, может внести существенную лепту за счет сырьевой базы, производственных мощностей и передовых научных технологий. Рост солнечной энергетики будет пропорционален росту «солнечных» технологий и производств, которые смогут обеспечить формирующийся рынок новым качественным продуктом. На роль мощной производственной базы может вполне претендовать Россия, которая имеет необходимый научно-производственный потенциал.

В данной работе дан обзор состояния и перспектив развития солнечной энергетики в России. Проведен комплексный анализ гелиоэнергетических ресурсов территории Томской области с использованием данных NASA.

На основании результатов расчетов среднечасовых и среднесуточных данных регионов рассчитано, на примере фотоэлектростанции максимальной мощностью 25 кВт, количество электроэнергии, вырабатываемой электростанцией за год.

Проведен технико-экономический расчет эффективности использования фотоэлектростанции, работающей автономно в условиях Томской области.

На основании технико-экономического расчета, сделаны выводы об эффективности использования фотоэлектростанций, дизельных электростанций и гибридных электростанций (фотоэлектростанций совместно с дизельными) в условиях Томской области.

Таким образом, в работе исследована эффективность использования фотоэлектростанций, дизельных электростанций и гибридных электростанций в тех же климатических условиях; даны рекомендации по созданию условий для рентабельности их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сурков М.А., Лукутин Б.В., Сарсикеев Е.Ж., Киушкина В.Р. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2012. № 4. <http://naukovedenie.ru/PDF/42tvn412.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.

2. Мероприятия по развитию возобновляемых источников энергии в регионе / Лукутин Б.В., Киушкина В.Р., Сурков М.А. // Сборник Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона. Материалы Международного научно-практического форума. 2013. С. 393-397.
3. Dynamic model of wind speed longitudinal component / Sarsikeev Y., Lukutin B.V., Lyapunov D.Y., Surkov M.A., Obuhov S.G. // Advanced Materials Research. 2014. Т. 953-954. С. 529-532.
4. Effect of distributed photovoltaic generation on the voltage magnitude in a self-contained power supply system / Lukutin B.V., Shandarova E.B., Makarova A.F., Shvartsman I.B. // Сборник urgent problems of modern mechanical engineering 2016. С. 12005.
5. Лиценская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник и учеб. Пособие для студентов высш. учеб. заведений / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: КлоосС, 2008.-655 с.
6. Кадастр возможностей / Под ред. Б.В. Лукутина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 280 с.: ил. 6.
7. Петрусёв А.С., Сарсикеев Е.Ж. Разработка технических средств повышения эффективности солнечных установок // Вестник науки Сибири. 2015. №1 (15). С. 77-82.
8. Саплин Л.А. Экономическое обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в челябинской области // Ползуновский альманах: науч.-произв. ж. / Алтайский ГТУ. Барнаул, 1999, №1, с. 88-101.
9. Сурков М.А. Повышение энергоэффективности автономных ветро-дизельных электротехнических комплексов: специальность: 05.09.03: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2011.
10. Ларин А.И. Возобновляемые источники энергии. Энергия Солнца. Возможность использования в России и на Урале. – Екатеринбург. 2010.
11. Сурков М.А. К вопросу о секционировании дизельных электростанций в автономных системах электроснабжения // Инновационная энергетика 2010: материалы второй научно-практической конференции с международным участием. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 364 с., с. 128-132.
12. Обухов С.Г., Плотников И.А., Сарсикеев Е.Ж. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2012. №9. С. 137-141.
13. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии роль и место в современной и перспективной энергетике // Рос. хим. ж (Ж. Рос. хим. об-ваим. Д.И. Менделеева), 2008, т. LI, №6.
14. Попель О.С. Исследование и разработка систем энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии: специальность: 05.14.01: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Объединенный Институт высоких температур РАН. Москва, 2007.

Surkov Mikhail Aleksandrovich

Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: masur@yandex.ru

Obukhov Sergey Gennad'evich

Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: serob@tpu.ru

Plotnikov Igor' Aleksandrovich

Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: igorplt@tpu.ru

Sumarokova Lyudmila Petrovna

Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: sumarok@tpu.ru

Popov Mikhail Mikhaylovich

Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: mix_mix13@tpu.ru

Baydali Sergey Anatol'evich

Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: basa@tpu.ru

Feasibility assessment of photovoltaic plants for power supply of remote customers in the climatic conditions of Northern Russia

Abstract. The article discusses the possibility of using photovoltaic power plants for remote electricity consumers in northern territories of the Russian Federation. The prospects and the economic feasibility of combining renewable sources with existing diesel power plants are shown.

The real data from existing remote electricity consumers, the current tariffs and actual electrical loads schedules are used.

A review of the state of and prospects for the development of solar energy in Russia, conducted a comprehensive analysis of the solar energy resources of the Tomsk region in terms of the substitution of expensive electric power generation from diesel generator sets are given.

Based on NASA data of solar radiation on the earth's surface, the results of calculations of average hourly and average daily data for study region the amount of electricity generated by the power plant for a year are calculated by the example of photovoltaic power with a maximum installed capacity of 25 kW.

Technical and economic assessment of use efficiency of photovoltaic power, operate autonomously in the climatic conditions of the Tomsk region, conclusions about the effectiveness of the use of photovoltaic power, diesel power stations and hybrid power plants (photovoltaic installations, operating in conjunction with the diesel power plant on a single load) in the climatic conditions of the Tomsk region are carried out.

Keywords: hybrid system; photovoltaic power plant; diesel-generator; autonomous; decentralized; feasibility assessment; solar; energy; battery; remote consumers

REFERENCES

1. Surkov M.A., Lukutin B.V., Sarsikeev E.Zh., Kiushkina V.R. Mirovye tendentsii v oblasti postroyeniya avtonomnykh sistem elektrosnabzheniya s ispol'zovaniem vozobnovlyaemykh istochnikov energii // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» 2012. № 4. <http://naukovedenie.ru/PDF/42tvn412.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus.
2. Meropriyatiya po razvitiyu vozobnovlyaemykh istochnikov energii v regione / Lukutin B.V., Kiushkina V.R., Surkov M.A. // Sbornik Prirodnye resursy i ekologiya Dal'nevostochnogo regiona Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma. 2013. S. 393-397.
3. Dynamic model of wind speed longitudinal component / Sarsikeev Y., Lukutin B.V., Lyapunov D.Y., Surkov M.A., Obuhov S.G. // Advanced Materials Research. 2014. T. 953-954. S. 529-532.
4. Effect of distributed photovoltaic generation on the voltage magnitude in a self-contained power supply system / Lukutin B.V., Shandarova E.B., Makarova A.F., Shvartsman I.B. // Sbornik urgent problems of modern mechanical engineering 2016. S. 12005.
5. Lishchenskaya T.B. Elektrosnabzhenie sel'skogo khozyaystva: uchebnik i ucheb. Posobie dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy / T.B. Leshchinskaya, I.V. Naumov. – M.: KlosS, 2008.-655 s.
6. Kadastr vozmozhnostey / Pod red. B.V. Lukutina. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2002. – 280 s.: il. 6.
7. Petrusev A.S., Sarsikeev E.Zh. Razrabotka tekhnicheskikh sredstv povysheniya effektivnosti solnechnykh ustanovok // Vestnik nauki Sibiri. 2015. №1 (15). S. 77-82.
8. Saplin L.A. Ekonomicheskoe obosnovanie ispol'zovaniya netraditsionnykh vozobnovlyaemykh istochnikov energii v chelyabinskoy oblasti // Polzunovskiy al'manakh: nauch.-proizv. zh. / Altayskiy GTU. Barnaul, 1999, №1, s. 88-101.
9. Surkov M.A. Povyshenie energoeffektivnosti avtonomnykh vetro-dizel'nykh elektrotekhnicheskikh kompleksov: spetsial'nost': 05.09.03: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskiiy universitet. Tomsk, 2011.
10. Larin A.I. Vozobnovlyaemye istochniki energii. Energiya Solntsa. Vozmozhnost' ispol'zovaniya v Rossii i na Urale. – Ekaterinburg. 2010.
11. Surkov M.A. K voprosu o sektionirovanii dizel'nykh elektrostantsiy v avtonomnykh sistemakh elektrosnabzheniya // Innovatsionnaya energetika 2010: materialy vtoroy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2010. – 364 s., s. 128-132.
12. Obukhov S.G., Plotnikov I.A., Sarsikeev E.Zh. Bufernaya sistema nakopleniya elektroenergii dlya vozobnovlyaemoy energetiki // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2012. №9. S. 137-141.
13. Popel' O.S. Vozobnovlyaemye istochniki energii rol' i mesto v sovremennoy i perspektivnoy energetike // Ros. khim. zh (Zh. Ros. khim. ob-vaim. D.I. Mendeleeva), 2008, t. LII, №6.
14. Popel' O.S. Issledovanie i razrabotka sistem energosnabzheniya s ispol'zovaniem vozobnovlyaemykh istochnikov energii: spetsial'nost': 05.14.01: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Ob"edinennyy Institut vysokikh temperatur RAN. Moskva, 2007.