



Анализ технико-экономических показателей источников собственной генерации энергии на железных дорогах



Ким САМАРОВ
Kim L. SAMAROV

Юрий СТРЕНАЛЮК
Yuri V. STRENALYUK



Самаров Ким Леонидович – доктор технических наук, профессор Технологического университета, Королев, Россия.

Стрелянок Юрий Вениаминович – доктор технических наук, профессор Технологического университета, Королев, Россия.

Analysis of Technical and Economic Indicators of Sources of Own Generation of Energy on Railways

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 145)

Описаны этапы системного анализа технико-экономических показателей, позволяющих сравнивать эффективность оборудования возобновляемых источников солнечной энергии. Показано, что внедрение гелиоустановок как дополнительного источника для системы электроснабжения нетяговых и нетранспортных потребителей (для оборудования информационно-вычислительных комплексов железных дорог) даст возможность уменьшить затраты на энергообеспечение, сократить объёмы строительства линий электропередач. Авторы статьи уверены, что ситуация в ценовой политике по энергоносителям делает особенно важной объективную оценку энергетической окупаемости сооружения гелиоустановок.

Ключевые слова: железная дорога, системный анализ, солнечная энергия, гелиоустановки, энергетическая окупаемость.

С целью снижения затрат на энергообеспечение и повышение качества электроэнергии на железнодорожном транспорте предусматривается развитие собственной генерации энергии на нетяговые нужды: для электроснабжения нетяговых и нетранспортных потребителей путем использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Износ основных фондов электрических сетей составляет 40 %. Уже только по этой причине внедрение независимых от электрических сетей возобновляемых источников энергии (ВИЭ) актуально. Для регионов Сибири и Дальнего Востока с высоким уровнем солнечной инсоляции целесообразно использование солнечных ВИЭ.

В нашей статье будут рассмотрены ВИЭ с гелиоустановками (ГУ), преобразующие солнечную энергию в электрическую энергию для оборудования информационно-вычислительных комплексов (ИВК) железных дорог.

Обеспечение ИВК промышленного и транспортного назначения источниками дополнительного/резервного, а при необходимости и автономного электроснабжения должно осуществляться с учётом тре-



бований к их гарантированному включению в работу, квалифицированному обслуживанию и улучшению экологии, к наличию готовых к использованию передвижных вычислительных модулей (с энергоустановками) при авариях и чрезвычайных ситуациях [1, 2]. В этой связи возникает задача технико-экономической оценки оборудования ВИЭ с гелиоустановками для надёжного функционирования ИВК.

Предельный теоретический КПД фотоэлектрического преобразования (ФЭП) превышает 90 %, поэтому актуальна постановка задачи повышения КПД ФЭП до 50 % и более в результате оптимизации структуры и параметров ФЭП и ГУ. Гелиоустановки с концентраторами улавливают на 40 % больше солнечной энергии [3, 4]. На основании экспериментальных данных, полученных в Стенфордском университете [5], можно сделать вывод, что при использовании ФЭП на основе арсенида галлия и нитрида галлия с концентрацией лучистой энергии Солнца и объединением двух принципов преобразования солнечного света в электричество – термодинамического и светового – КПД увеличивается на 26 % (в среднем до 40 % по сравнению с существующим средним значением 14 %). Термодинамическое преобразование базируется на использовании термоэлектрического и термоэмиссионного процессов. Световое преобразование (прямая конверсия фотонов в ток при помощи полупроводника) основано на методах фотоэлектрического, фотогальванического и фотоэмиссионного преобразований. Удельная стоимость производства энергии с помощью ГУ может быть снижена не только за счёт повышения КПД установки и её составных элементов, снижения стоимости

управления ею, но и за счёт использования ГУ как дополнительного источника питания и выдачи электроэнергии в сеть общего пользования за плату, гарантированную правительством.

Основные компоненты в структуре стоимости ГУ описываются параметрами, значения которых характеризуют уровень используемых технологий. Стоимость солнечного ватта зависит в первую очередь от стоимости полупроводникового материала в фотоэлектрическом преобразователе, а также от КПД ФЭП (руб./Вт):

$$S_{\text{ФЭП}} = \frac{S_{\text{мн}} d \rho}{E_{\text{ср}} \eta_{\text{ФЭП}} Y_1 Y_2}, \quad (1)$$

где $S_{\text{мн}}$ – стоимость полупроводника [руб.]; d – толщина используемых пластин [мкм]; ρ – плотность полупроводника [кг/м³]; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение солнечной освещённости за день с учётом вечерних и утренних часов и климатических условий в различные времена года [Вт/м²]; $\eta_{\text{ФЭП}}$ – КПД ФЭП; Y_1 и Y_2 – технологические коэффициенты, характеризующие выходы процессов переработки кристаллов полупроводника в пластины и пластин в солнечные элементы.

Из соотношения (1) видно, что чем больше площадь солнечных панелей, тем выше стоимость полупроводника. Имеющаяся в настоящее время и в перспективе неопределённость в государственной ценовой политике по энергоносителям делает особенно важной объективную оценку энергетической окупаемости сооружения ГУ. Стоимость аккумуляторных батарей (АКБ), являющихся электрохимическими накопителями энергии (НЭ), составляет наиболее весомую долю в общей стоимости солнечных электроустановок. Высокую кратковременную мощность можно полу-



чить только при весьма большой емкости АКБ, что обуславливает большие размеры и массу накопителя. К другим недостаткам АКБ относятся невысокая циклическая стабильность и, следовательно, ограниченный срок службы, а также наличие в них кислоты, свинца, кадмия и других экологически опасных материалов.

Срок окупаемости ГУ в зависимости от её удельной стоимости [лет]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{S_{\text{ГУ}}}{E_{\text{ГУ}} S_{\text{T}}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{ГУ}}$ – стоимость ГУ [руб.]; $E_{\text{ГУ}}$ – годовое количество электричества, выработанное ГУ [кВт•ч/лет]; S_{T} – стоимость энергии от традиционной энергоустановки [руб./кВт•ч].

Для того чтобы гелиоустановки были рентабельными, надо почти в два раза уменьшить стоимость солнечной энергии. Предварительные оценки использования концентрации лучистой энергии [6] путем объединения двух принципов преобразования солнечного света в электричество – теплового и квантового КПД [5], применения в ФЭП солнечных каскадных элементов [1], снижения затрат на управление ГУ с помощью следящего электропривода (СЭП), осуществляющего пошаговый режим слежения за Солнцем [7], свидетельствуют о том, что на современном этапе развития ГУ существенное снижение стоимости солнечного ватта становится реальным при обеспечении качества вырабатываемой электроэнергии на требуемом уровне [8].

Экономическую прибыль за счёт возможности выполнять дополнительные функции можно извлечь с помощью дополнительной энергии от ГУ. Дополнительную энергию целесообразно реализовывать только тогда, когда стоимость замещающего электричества традиционной энергосистемы равна или больше стоимости электричества, вырабатываемого ГУ. Если на правительственном уровне будет организована поддержка при внедрении солнечных энергоустановок, то стоимость замещающего электричества должна оста-

ваться именно такой с учётом вычета «квот за выбросы» за счёт снижения выбросов углекислого газа [9]. Соответственно запишем вытекающие отсюда неравенства [руб.]:

$$S_{\text{T}} \geq S_{\text{ГУ}} / E_{\text{ГУ}} \text{ или } S_{\text{T}} \geq S_{\text{ГУ}} / (E_{\text{ГУ}} - S_{\text{КВ}}), \quad (3)$$

где $S_{\text{КВ}}$ – квота за выбросы.

ВЫВОДЫ

Разработана технико-экономическая оценка энергетической оптимизации возобновляемых источников энергии с гелиоустановками. Чтобы использование гелиоустановок стало рентабельным, надо почти в два раза уменьшить стоимость получаемой от них солнечной энергии. С участием государства или без него, но выполнение этой задачи – главное условие экономически целесообразных проектов, связанных с внедрением нетрадиционных видов энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. – 2004. – № 8. – С. 937–947.
2. Макушин М. Есть ли место Солнцу в будущем российской энергетике? // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. – 2007. – № 4. – С. 112–119.
3. Wolff, G., Gallego, B., Tisdale, R., Hopwood, D. CSP concentrates the mind. Renewable Energy Focus, 2008, Jan/Feb, pp. 42–47.
4. Овсянников Е. М., Пшеннов В. Б., Аббасов Э. М. Расчёт гелиоустановки с концентрацией лучистого потока энергии // Промышленная энергетика. – 2008. – № 8. – С. 46–48.
5. Попов Л. Горячая фотоячейка тянет электроны из коктейля света и жара. <http://www.membrana.ru/particle/2014>. Доступ 04.09.2016.
6. Овсянников Е. М., Аббасов Э. М., Аббасова Т. С. Технико-экономический анализ использования систем преобразования солнечной энергии в другие виды энергии // Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 3. – С. 2–6.
7. Аббасов Э. М., Аббасова Т. С. Исследование структуры и условий работы следящих электроприводов гелиоустановок // Промышленная энергетика. – 2011. – № 1. – С. 45–49.
8. Артюшенко В. М., Аббасова Т. С. On-line расчёт показателей качества электроэнергии в режиме реального времени // Мир транспорта. – 2013. – № 2. – С. 18–23.
9. Аббасова Т. С., Сидорова Н. П., Логачева Н. В. Оценка экономической эффективности возобновляемых источников энергии для информационно-вычислительных комплексов и управляющих систем // Вопросы региональной экономики. – 2015. – № 4. – С. 167–177. ●

Координаты авторов: Самаров К. Л. – kimsamarov@yandex.ru, Стрэналюк Ю. В. – str1953@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 31.03.2016, принята к публикации 04.09.2016.

ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF SOURCES OF OWN GENERATION OF ENERGY ON RAILWAYS

Samarov, Kim L., Technological University, Korolev, Russia.
Strenalyuk, Yuri V., Technological University, Korolev, Russia.

ABSTRACT

The stages of the system analysis of technical and economic indicators allowing to compare the efficiency of renewable solar energy equipment are described. It is shown that the introduction of solar installations as an additional source for a power supply system for non-traction and non-transport consumers

(for equipment of information and computer complexes of railways) will make it possible to reduce energy costs and reduce construction of power transmission lines. The authors of the article are sure that the situation in the energy pricing policy makes an objective assessment of the energy payback of the solar installation construction particularly important.

Keywords: railway, system analysis, solar energy, solar installations, energy payback.

Background. In order to reduce the cost of energy supply and improve the quality of electricity in rail transport, it is envisaged to develop its own generation of energy for non-traction needs: to provide power to non-traction and non-transport consumers by using non-traditional renewable energy sources. Depreciation of fixed assets of electric grids is 40 %. It is only for this reason that the introduction of renewable energy sources (RES), independent of electrical networks, is actual. For regions of Siberia and the Far East with a high level of solar insolation, it is advisable to use solar RES.

In our article, we will consider RES with solar installations (SI), which convert solar energy into electrical energy for the equipment of information and computer complexes (ICC) of railways.

Objective. The objective of the authors is to analyze technical and economic indicators of sources of own generation of energy on railways.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, mathematical calculations, evaluation approach, comparative analysis.

Results. Provision of ICC for industrial and transport purposes with sources of additional/reserve and, if necessary, autonomous power supply should be carried out taking into account the requirements for their guaranteed inclusion in work, qualified maintenance and improvement of the environment, availability of ready-to-use mobile computing modules (with power installations) in case of accidents and emergency situations [1, 2]. In this regard, the task arises of a technical and economic assessment of RES equipment with solar installations for the reliable operation of ICC.

The limiting theoretical efficiency of the photoelectric conversion (PEC) exceeds 90 %, therefore, the actual task of increasing the efficiency of PEC is up to 50 % and more as a result of optimizing the structure and parameters of PEC and SI. Solar installations with concentrators capture 40 % more solar energy [3, 4]. On the basis of experimental data obtained at Stanford University [5], it can be concluded that when using PEC on gallium arsenide and gallium nitride with a concentration of solar radiant energy and combining two principles of conversion of sunlight into electricity – thermodynamic and light – the efficiency is increased by 26 % (an average of 40 % compared with the current average of 14 %). The thermodynamic conversion is based on the use of

thermoelectric and thermionic processes. The light conversion (direct conversion of photons into a current by means of a semiconductor) is based on the methods of photoelectric, photovoltaic and photoemission transformations. The specific cost of energy production by means of SI can be reduced not only by increasing the efficiency of the installation and its components, reducing the cost of managing it, but also by using SI as an additional source of power and supplying electricity to the public network for a fee guaranteed by the government.

The main components in the cost structure of SI are described by parameters which values characterize the level of technology used. The cost of a solar watt depends primarily on the cost of semiconductor material in the photoelectric converter, as well as on the efficiency of PEC (rub./W):

$$S_{PEC} = \frac{S_{sc} d \rho}{E_{av} \eta_{PEC} Y_1 Y_2}, \quad (1)$$

where S_{sc} is the cost of the semiconductor [rub.]; d is thickness of the plates used [μm]; ρ is semiconductor's density [kg/m^3]; E_{av} is average value of solar illumination for a day taking into account evening and morning hours and climatic conditions in different seasons [W/m^2]; η_{PEC} is efficiency of PEC; Y_1 and Y_2 are technological coefficients characterizing the yields of the processes of processing semiconductor's crystals in plates and plates into solar cells.

It follows from relation (1) that the larger is the area of solar panels, the higher is the cost of a semiconductor. The current uncertainty in the state pricing policy on energy carriers makes the objective assessment of the energy payback of SI facility especially important. The cost of accumulator batteries (AB), which are electrochemical energy storage units (ESU), is the most significant part of the total cost of solar electrical installations. High short-term power can be obtained only with a very high capacity of AB, which determines the large size and mass of the storage unit. Other drawbacks of AB include low cyclic stability and, therefore, a limited service life, as well as the presence of acid, lead, cadmium and other environmentally hazardous materials.

Payback period of SI depending on its unit cost [years]:

$$T_{PP} = \frac{S_{SI}}{E_{SI} S_T}, \quad (2)$$





where S_{SI} is cost of SI [rub.]; E_{SI} is annual amount of electricity generated by SI [$\text{kW}\cdot\text{h}/\text{year}$]; S_r is cost of energy from a traditional power installation [$\text{rub.}/\text{kW}\cdot\text{h}$].

For solar installations to be cost-effective, it is necessary to almost halve the cost of solar energy. Preliminary estimates of the use of concentration of radiant energy of the Sun [6] by combining two principles of conversion of sunlight into electricity – thermal and quantum efficiency [5], the use of PEC of solar cascade elements in the photovoltaic cell [1], reducing the cost of controlling SI using a follower electric drive (FED), implementing the step-by-step regime of tracking the Sun [7], indicate that at the present stage of the development of the SI, a significant reduction in the cost of the solar watt becomes real while ensuring the quality of production electricity at the required level [8].

Economic profit through the ability to perform additional functions can be derived by generating additional energy from SI. It is advisable to realize additional energy only when the cost of the replaced electricity of a traditional power system is equal to or greater than the cost of electricity generated by SI. If support is provided at the governmental level for introduction of solar installations, the cost of electricity to be replaced should remain exactly this, taking into account the deduction of «emission quotas» by reducing carbon dioxide emissions [9]. Accordingly, we write down the following inequalities [rub.]

$$S_r \geq S_{SI}/E_{SI} \text{ or } S_r \geq S_{SI}/(E_{SI} - S_{OU}), \quad (3)$$

where S_{OU} is emission quota.

Conclusions. A technical and economic assessment of the energy optimization of RES renewable energy sources with solar installations has been developed. In order to make the use of solar installations profitable, it is necessary to almost halve the cost of solar energy received from them. With the participation of the state or without it, but the fulfillment of this task is the main condition of economically viable projects related to the introduction of non-traditional types of energy.

Information about the authors:

Samarov, Kim L. – D.Sc. (Eng), professor of Technological University, Korolev, Russia, kimsamarov@yandex.ru.

Strenalyuk, Yuri V. – D.Sc. (Eng), professor of Technological University, Korolev, Russia, str1953@mail.ru.

Article received 31.03.2016, accepted 04.09.2016.

REFERENCES

1. Alferov, Zh. I., Andreev, V. M., Rummyantsev, V. D. Trends in development of solar photovoltaics [*Tendencii razvitiia solnechnoj fotoenergetiki*]. *Fizika i tehnika poluprovodnikov*, 2004, Iss. 8, pp. 937–947.
2. Makushin, M. Is there a place for the Sun in the future of Russian energy sector? [*Est' li mesto Solncu v budushhem rossijskoj energetiki?*]. *Elektronika: Nauka. Tehnologija. Biznes*, 2007, Iss. 4, pp. 112–119.
3. Wolff, G., Gallego, B., Tisdale, R., Hopwood, D. CSP concentrates the mind. *Renewable Energy Focus*, 2008, Vol. 9, Iss. 1, pp. 42–47.
4. Ovsyannikov, E. M., Pshennov, V. B., Abbasov, E. M. Calculation of the solar installation with concentration of the radiant energy flux [*Raschet gelioustanovki s koncentraciej luchistogo potoka energii*]. *Promyshlennaja energetika*, 2008, Iss. 8, pp. 46–48.
5. Popov, L. Hot photocell pulls electrons from a cocktail of light and heat [*Gorjachaja fotojachejka tjanet elektrony iz koktejlja sveta i zhara*]. Last accessed 04.09.2016.
6. Ovsyannikov, E. M., Abbasov, E. M., Abbasova, T. S. Technical and economic analysis of the use of solar energy conversion systems in other types of energy [*Tekhniko-ekonomicheskij analiz ispol'zovanija sistem preobrazovanija solnechnoj energii v drugie vidy energii*]. *Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotehnicheskaja promyshlennost'*, 2013, Iss. 3, pp. 2–6.
7. Abbasov, E. M., Abbasova, T. S. Research of the structure and working conditions of follower electric drives of solar installations [*Issledovanie struktury i uslovij raboty sledjashhih elektroprivodov gelioustanovok*]. *Promyshlennaja energetika*, 2011, Iss. 1, pp. 45–49.
8. Artyushenko, V. M., Abbasova, T. S. On-line computation of electrical energy quality rates. *World of Transport and Transportation*, Vol. 11, 2013, Iss. 2, pp. 18–23.
9. Abbasova, T. S., Sidorova, N. P., Logacheva, N. V. Estimation of economic efficiency of renewable energy sources for information-computational complexes and control systems [*Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti vozobnovljaemyh istochnikov energii dlja informacionno-vychislitel'nyh kompleksov i upravljajushhih sistem*]. *Voprosy regional'noj ekonomiki*, 2015, Iss. 4, pp. 167–177. ●