

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е.Н. Задорожный

eugenezador@mail.ru

О.Е. Комкова

SPIN-код: 2554-2119

olyaamh@mail.ru

SPIN-код: 4779-6629

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена проблема использования альтернативных источников энергии в рамках локального потребления на территории Российской Федерации. Проведены исследования, целью которых является расчет эффективности капиталовложений при создании систем обеспечения электроэнергией, генерируемой альтернативными источниками энергии для небольших поселков с оптимальной инфраструктурой. Для решения поставленных задач проведены расчеты двум методикам оценки количества ветроэнергоустановок и солнечных станций, необходимых для обеспечения электроэнергией поселка городского типа и индивидуальных потребителей. Проведен сравнительный анализ экономической эффективности капиталовложений в проект с солнечной станцией и ветрогенераторами на примере поселка городского типа с заданным количеством потребителей. При сравнительном анализе альтернативных источников энергии учтены такие факторы, как условия эксплуатации, стартовые капиталовложения, технические характеристики, удельная мощность, себестоимость выработанной энергии, сроки окупаемости, область применения.

Ключевые слова

Солнечная энергия, ветрогенератор, экономическая эффективность капиталовложений, альтернативные источники энергии, чистый дисконтный доход, капиталовложения

Поступила в редакцию 27.10.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

В настоящее время в мире уделяется большое значение альтернативным источникам энергии, как экологически чистым и безопасным. Например, в климатических условиях средней полосы России могут эффективно использоваться потребителями в бытовых целях в течение 6–7 месяцев в году (с март/апреля по сентябрь) солнечные водонагревательные установки. Для нагрева 100 л воды такая установка должна иметь 2–3 м² солнечных коллекторов. В летнее время водонагревательная установка обеспечит ежедневный нагрев воды до температуры не менее 45 °С с вероятностью не менее 70–80 % [1].

Эффективность использования тех или иных альтернативных источников энергии напрямую зависит от региона. В России это энергия Земли, солнца, ветра, морских волн и биомассы, но количество энергии, вырабатываемой такими способами, мало и составляет 0,6 % от общего количества используемой энергии [2–5]. В Европе доля энергии, вырабатываемой альтернативными источниками составляет, 20–50 %.

Ветряные генераторы и солнечные электрические батареи являются самыми дорогостоящими элементами индивидуального автономного энергоснабжения, и в то же время они обеспечивают практически полную независимость потребителей от централизованного подключения к электрическим сетям. При использовании правильно спроектированных комбинированных систем солнце-ветер, учитывающих климатические и географические факторы, себестоимость одного кВт электрической энергии составляет сейчас 30–50 центов. Однако с развитием технологий получения альтернативной энергии и неизбежного роста цен на природное топливо актуальность использования таких систем в микроэнергетике будет неуклонно возрастать.

Назовем основные преимущества ветряных генераторов и солнечных электрических батарей:

- 1) мобильность;
- 2) независимость от дополнительного источника энергии;
- 3) экологическая безопасность при эксплуатации;
- 4) возможность получения дохода при сбросе текущих избытков электрической энергии в сеть.

Проведены исследования, целью которых является расчет эффективности капиталовложений в создание систем обеспечения электроэнергией, генерируемой альтернативными источниками энергии для небольших поселков с оптимальной инфраструктурой. Для решения поставленной задачи проведены расчеты по двум методикам оценки количества ветроэнергоустановок и солнечных станций, необходимых для обеспечения электроэнергией поселка городского типа и индивидуальных потребителей. Проведен сравнительный анализ экономической эффективности капиталовложений в проект с солнечной станцией и ветрогенераторами на примере поселка городского типа с заданным количеством потребителей. При сравнительном анализе альтернативных источников энергии были учтены такие факторы, как условия эксплуатации, стартовые капиталовложения, технические характеристики, удельная мощность, себестоимость выработанной энергии, сроки окупаемости, область применения.

Ветряные генераторы, обеспечивающие электроэнергией поселок городского типа. Расчет проведен исходя из числа жителей 1300 человек и инфраструктуры поселка (школа, больница, административное здание, производство, порт). Общее потребление электрической мощности составило 646 кВт. Ниже более подробно представлены потребности в электрической энергии для разных объектов.

Потребляемая электрическая мощность

Объект инфраструктуры	Значение потребляемой электроэнергии, кВт
Школа	12
Больница	12
Административно-хозяйственные здания	8,5
Производство и порт	51
Жилой сектор (375 квартир)	562,5

В качестве генератора электрической мощности выбрана ветроэнергостановка Condor Air 380 в количестве 11 штук и стоимостью 2,5 млн руб. каждая. Генерируемая мощность данной установки равна 60 кВт.

Стоимость капиталовложений для осуществления проекта составила таким образом:

$$K_{\text{вл}} = 2,5 \times 11 = 27,5 \text{ млн руб.}$$

Тогда срок окупаемости найдем по формуле [6,7]:

$$\text{Срок}_{\text{окуп}} = \frac{K_{\text{вл}}}{\sum \frac{\text{дох} - \text{расх}}{(1+i)^t}}$$

Здесь доход рассчитывается в руб. от продажи потребителем генерированной электроэнергии (646 кВт × 24 ч × 365 дней × 4,05 руб. = 22 918 788 руб.); расход включает зарплату обслуживающего персонала (пять ставок по 20 000 руб./мес), траты на техническое обслуживание (50 000 руб./год), стоимость аренды помещения обслуживающей бригады (10 000 руб./год), всего около 1 260 000 руб./год; i — ставка дисконтирования, $i = i_{\text{инфл.}} + i_{\text{риски}} + i_{\text{безриск.}} = 15\% + 5\% + 3\% = 23\%$; t — временной интервал, равный одному году. Стоимость 1 кВт электроэнергии в расчетах — 4,05 руб. Срок окупаемости составил 1,56 года.

Для расчета прибыли от проекта был проведен расчет чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [7]:

$$\text{ЧДД} = \sum \frac{\text{доход} - \text{расход}}{(1+i)^t} - K_{\text{вл}}$$

где $t = 5$ лет; доход за 5 лет = 114 593 940 руб.; расход за 5 лет = 6 300 000 руб.; $(1+i)^t = 2,815$. Тогда ЧДД составит 38 538 768 – 27 500 000 = 10 966 139 руб.

Таким образом, экономическая эффективность части проекта по использованию в качестве источников электрической мощности ветрогенераторов подтверждается расчетами ЧДД и Срока окупаемости. Из результатов расчетов следует, что отношение ЧДД к $K_{\text{вл}}$ составляет 40 %.

Солнечные станции для обеспечения электроэнергией поселка городского типа. Для реализации проекта была выбрана солнечная под названием «Солнечный дом». Основные характеристики этой станции: генерируемая рабочая

мощность — 1600 Вт; суточная выработка (в июне) 2400 Вт·ч. Стоимость такой станции составляет 89 000 руб. Из учета потребности поселка городского типа в электроэнергии рассчитаем количество установок [8]:

$$N = \frac{646 \text{ кВт}}{1600 \text{ Вт}} \approx 410 \text{ шт.}$$

Таким образом, общая сумма капиталовложений составит $89\,000 \times 410 = 36\,490\,000$ руб.

Срок окупаемости и стоимость 1 кВт электроэнергии такие же, как и в предыдущем примере, и составляют соответственно 22 918 788 руб. и 4,05 руб.

Расход складывается из зарплаты обслуживающего персонала (семь ставок по 20 000 руб./мес), затрат на техническое обслуживание (50 000 руб./год) и аренду помещения для обслуживающей бригады (10 000 руб./год), всего около 1 740 000 руб./год. Ставка дисконтирования i также равна 23 %, а временной интервал t — одному году. В итоге срок окупаемости составил 2,11 года.

Далее рассчитаем чистый дисконтированный доход (ЧДД) [6,7]:

$$\text{ЧДД} = \sum \frac{\text{доход} - \text{расход}}{(1+i)^t} - K_{\text{вл}},$$

где временной интервал t — пять лет. Доход за пять лет: 22918788×5 лет = 114 593 940 руб.; расход за пять лет: $1\,740\,000 \times 5 = 8\,700\,000$ руб.; $(1+i)^t = 2,815$. Отсюда ЧДД = 1 127 740 руб.

Таким образом, экономическая эффективность части проекта по использованию в качестве источников электрической мощности солнечных станций подтверждается расчетами ЧДД и сроков окупаемости. Из расчетов видно, что отношение ЧДД к Квл составляет 3 %. Следовательно, проект с солнечными станциями в сравнении с проектом, где в качестве источников электрической энергии предлагаются ветрогенераторные станции является менее предпочтительным в экономическом плане.

Ветрогенераторные и солнечные станции. В таблице 1 приведены основные экономические показатели проектов, в которых в качестве источника генерации электроэнергии предлагается использовать ветрогенераторы и солнечные станции.

Таблица 1

Основные экономические показатели ветрогенераторной и солнечной станций

Показатель \ Источник энергии	Вертогенераторные станции	Солнечные станции	Разностный показатель Δ
Квл, млн руб.	27,5	36,49	-8,99
ЧДД, млн руб.	10,96	1,12	9,84
Срок окупаемости, годы	1,56	2,11	-0,55
ЧДД/Квл · 100 %	40	3	37

Также в табл. 1 приведен показатель, который определен как разница между основными экономическими показателями различных видов станций, вырабатывающих электроэнергию. Указанные значения представлены в виде диаграммы на рис. 1.

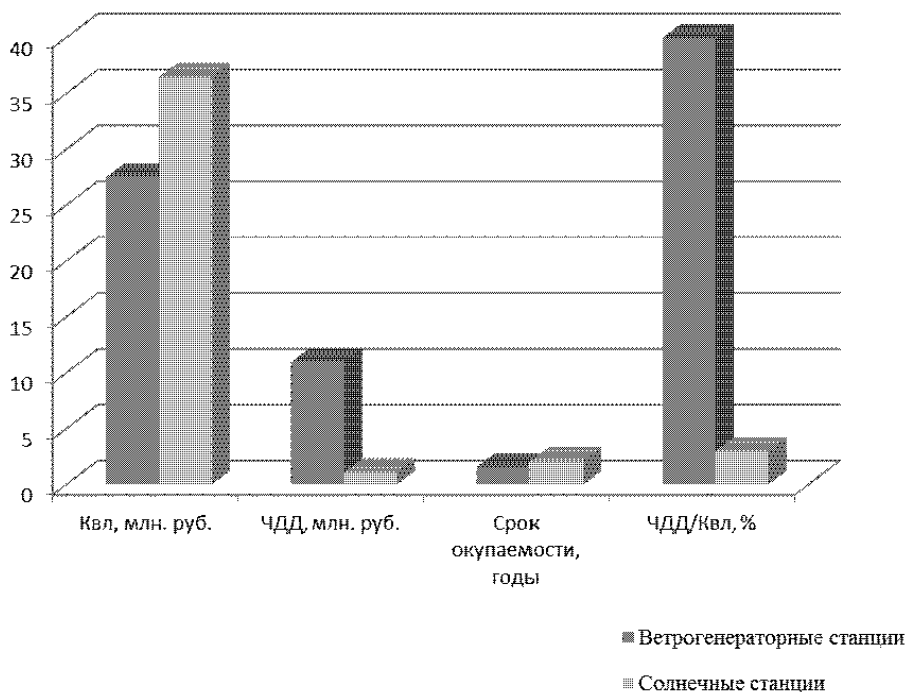


Рис. 1. Диаграммы основных экономических показателей ветрогенераторных и солнечных станций

Из рисунка видно, что по всем экономическим показателям более предпочтительной является выработка электроэнергии ветрогенераторами, нежели солнечными станциями.

В таблицах 2 и 3 представлены соответственно показатели дохода и расхода за пять лет эксплуатации ветрогенераторных и солнечных станций.

Таблица 2

Показатели дохода при использовании альтернативных источников энергии

Год эксплуатации \ Доход, млн руб./год	Ветрогенераторные станции	Солнечные станции
1	22,918	22,918
2	45,83	45,83
3	68,75	68,75
4	91,67	91,67
5	114,59	114,59

Показатели расхода при использовании альтернативных источников энергии

Год эксплуатации \ Расход, млн руб./год	Ветрогенераторные станции	Солнечные станции
1	1,26	1,74
2	2,52	3,48
3	3,78	5,22
4	5,04	6,96
5	6,3	8,7

В более наглядном виде распределение доходов и расходов ветрогенераторных и солнечных станций в течение пяти лет представлено на рис. 2.

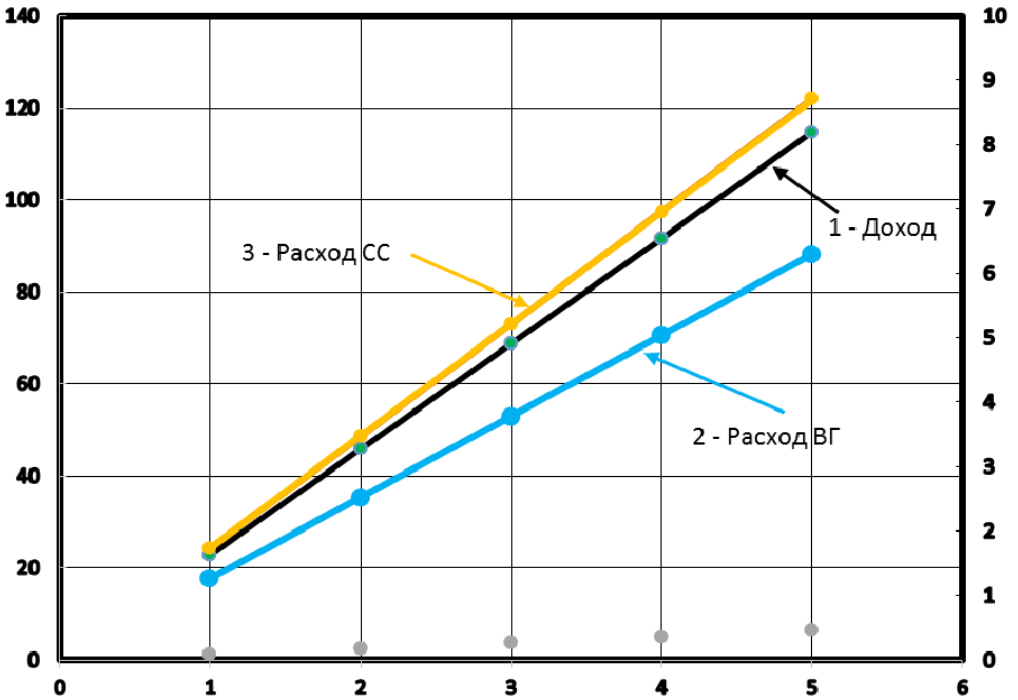


Рис. 2. Распределение доходов и расходов ветрогенераторных и солнечных станций в течение пяти лет:

- 1 — доход; 2 — расход от применения солнечных станций;
- 3 — расход от применения ветрогенераторных станций

Поскольку расход на эксплуатацию ветрогенераторной станции меньше, чем солнечной, то при одинаковой стоимости выработанной электроэнергии ветрогенераторная станция, при прочих равных условиях, выгоднее. Прочие равные условия включают, например, отсутствие калькуляции на стоимость комплектующих в случае возникновения внештатной, аварийной ситуации.

Электроэнергия солнечной батареей при индивидуальном потреблении.

Рассмотрим пример расчета потребления электрической мощности на семью из четырех человек. Требуемые мощности потребления электроэнергии в месяц:

- холодильник — 400 Вт;
- TV — 150 Вт;
- свет/электричество – 10×60 Вт = 600 Вт;
- компьютер, телефон, модем — 150 Вт;
- стиральная машина — 1000 Вт;
- микроволновая печь и другая бытовая техника — 500 Вт.

Всего не более 2800 Вт, причем это пиковая мощность, а поскольку все приборы работают одновременно редко, максимума пиковая мощность не достигает. Среднюю потребляемую мощность можно рассчитать по показаниям счетчика электрической энергии, исходя из суммы в 1000 руб./мес и тарифа на электроэнергию — 4,05 руб./кВт·ч. Получаем следующую среднюю потребляемую энергию за месяц [7]:

$$1000/4,05 = 247 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

С учетом количества дней в месяце (30 дней) и активного времени суток (12 часов) определяем расход суточной мощности:

$$1000/4,05 \times 30 \times 12 = 686 \text{ Вт}.$$

При расчете мощности солнечной станции необходимо помнить, что она включает в себя следующие модули:

– солнечную батарею (панель из нескольких соединенных солнечных элементов);

– зарядное устройство;

– аккумуляторную батарею (АКБ);

– инвертор.

Выберем две станции мощностью 500 Вт каждая, учитывая запас мощности.

Исходные затраты или первоначальные капитальные вложения в проект базируются на стоимости двух станций и их монтажа и составляют 49 600 руб.

Далее произведем расчет срока окупаемости. Ресурс АКБ составляет шесть лет, других элементов — 25 лет. Таким образом, примерный срок бесперебойной работы станций до капитального ремонта около 25 лет. Учитывая динамику изменения стоимости комплектующих модулей станции, расчет окупаемости проекта произведем за первые 10 лет.

Годовая стоимость расходуемой электроэнергии, покрывающей потребности семьи составляет $1000 \times 12 = 12\,000$ руб. в год, срок окупаемости двух солнечных станций — $49\,600/12\,000 = 4,1$ года. Корректировку срока окупаемости проведем исходя из ресурса работы АКБ (шесть лет). За период сверх срока окупаемости ($6 - 4,1 = 1,9$ года) прибыль составит:

$$12000 \times 1,9 = 22\,800 \text{ руб}.$$

Соотношение затрат и прибыли представлены на рис. 3.

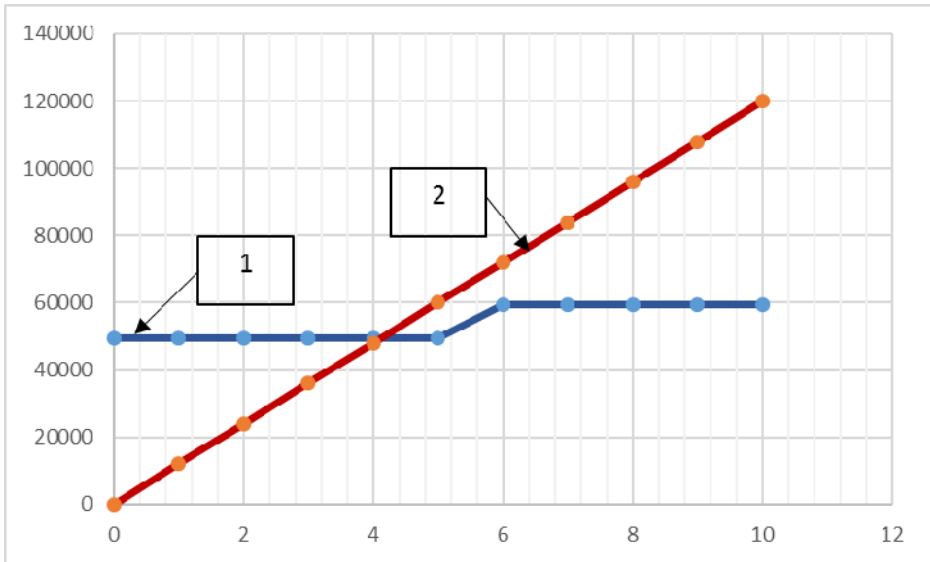


Рис. 3. Соотношение затрат и прибыли от реализации проекта по использованию солнечной энергии для обеспечения электроэнергией индивидуальных потребителей:

1 — затраты; 2 — прибыль

Общая прибыль от использования солнечных станций за расчетный период составит:

$$120\ 000 - 49\ 600 - 10\ 000 = 60\ 000 \text{ руб.}$$

С учетом общетехнических затрат на обслуживание за весь период эксплуатации в размере 30 % от стоимости станций ($0,3 \times 49\ 600 = 14\ 880$ руб.), получаем чистую прибыль:

$$60\ 000 - 14\ 880 = 45\ 120 \text{ руб.}$$

Проведенный анализ экономической эффективности применения альтернативных источников энергии показал, что ветряные станции по ряду экономических показателей (капиталовложения, срок окупаемости, чистый дисконтированный доход) превосходят солнечные станции, в тех регионах где достаточная ветровая нагрузка.

Для освоения солнечной энергии требуются долгосрочные государственные программы, стимулирующие население к целевым капиталовложениям. Следует отметить, что элементная база преобразователей солнечной энергии совершенствуется [9]. Преобразователи солнечной энергии могут работать в режиме преобразования альтернативного электромагнитного излучения [10], а поэтому их использование не ограничено только преобразованием солнечного света, и эффективность того или иного альтернативного источника энергии определяется географическим местоположением.

Литература

- [1] Попель О.С. Солнечные водонагреватели в климатических условиях средней полосы России // *Энергосбережение*, 2001, № 1, с. 30–34.
- [2] да Роза А. *Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы*. Москва, Издательский дом МЭИ, 2010. 704 с.
- [3] Экспертный портал по вопросам энергосбережения – Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. URL: <http://gisee.ru/news/> (дата обращения 27.09.2017).
- [4] Solar energy utilization on the verge of market introduction-facts and figures / Rasch W., Sinchez F., Winter C.-J. // 15th Congr. Worjrd Energy Counc, Madrid, Sept., 20-25, 1992. Div. 3. Pt. 1. [Madrid], 1992.
- [5] Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. *Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения*. Л.: Наука, 1989. 310 с.
- [6] Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. *Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика*. Москва, Дело, 2008. 1104 с.
- [7] Клементьева С.В. *Оценка эффективности инноваций при создании наукоемкой продукции*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 28 с.
- [8] Кухлинг Х. *Справочник по физике*. Москва, Издательство «Мир», 1983.
- [9] Шатковскис Э., Миткявичюс Р., Загадский В., Ступакова И. Аномальное увеличение коэффициента заполнения вольтамперной характеристики в коротковолновой области солнечного спектра у кремниевого фотоэлемента, содержащего структуру пористого кремния // *Письма в ЖТФ*, 2013, Т. 39, вып. 21, с. 23–29.
- [10] Тимченко С.Л., Дементьева О.Ю., Задорожный Н.А. Влияние спектра излучателей на характеристические кривые солнечной батареи // *Физическое образование в вузах*, 2015, Т. 21, № 1, с. 3–13.

Задорожный Евгений Николаевич — студент кафедры «Технологии сварки и диагностики», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Комкова Ольга Евгеньевна — студентка кафедры «Информационная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Клементьева Светлана Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и организация производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

ANALYZING THE EFFICIENCY OF USING THE ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY WITHIN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

E.N. Zadorozhny

eugenezador@mail.ru

SPIN-код: 2554-2119

O.E. Komkova

olyaamh@mail.ru

SPIN-код:4779-6629

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers the problem of using the alternative sources of energy within the framework of local use on the territory of the Russian Federation. The purpose of the research conducted is calculating the investments efficiency when creating the systems for providing people in small villages having an optimal infrastructure with the energy generated by the alternative sources of energy. In order to solve the set task we made calculations using two methods of estimating the number of windmills and solar power stations necessary for supplying the urban-type settlements and individual users with energy. We have conducted a comparative analysis of economical efficiency of the investments into the project with the solar power station and wind power generators as in the case of the urban-type settlement with the set number of users. During the comparative analysis of the alternative sources of energy the following factors were taken into account: operation conditions, starting investments, technical characteristics, power-to-weight ratio, energy output prime cost, pay-back time, area of application.

Keywords

Solar power, wind power generator, economical efficiency of the investments, alternative sources of energy, net discount profit, investments

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Popel O.S. *Efficiency of solar water heaters application in central Russia climate conditions. Energoberezhenie [Energy Saving]*, 2001, no. 1, pp. 30–34 (in Russ.).
- [2] da Rosa A. *Vozobnovlyaemye istochniki energii. Fiziko-tekhnicheskie osnovy [Download solution manual fundamentals of renewable energy processes]*. Moscow, MEI Publ., 2010. 704 p.
- [3] Ekspertnyy portal po voprosam energoberezheniya – Gosudarstvennaya informatsionnaya sistema v oblasti energoberezheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti. Available at: <http://gisee.ru/news/> (accessed 27.09.2017).
- [4] Rasch W., Sinchez F., Winter C.-J. Solar energy utilization on the verge of market introduction-facts and figures. *15th Congr. World Energy Council*. Madrid, Sept., 20–25, 1992. Div. 3. Pt. 1. [Madrid], 1992.
- [5] Andreev V.M., Grilikhes V.A., Rummyantsev V.D. *Photovoltaic Conversion of Concentrated Sunlight*. Chichester, John Wiley, 1997.

- [6] Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov. Teoriya i praktika [*Evaluation of investment projects effectiveness. Theory and practice*]. Moscow, Delo Publ., 2008. 1104 p.
- [7] Klement'eva S.V. Otsenka effektivnosti innovatsiy pri sozdanii naukoemkoy produktsii [Assessment of efficiency of innovations during creation of the knowledge-intensive production]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2007. 28 p.
- [8] *Kuhling* H. Handbook of Physics Leipzig, Fachbuchverlag, 1965.
- [9] Šatkovskis E., Mitkevičius R., Zagadskij V., Stupakova I. An anomalous increase in the fill factor of the current-voltage characteristic in the short-wave region of the solar spectrum for a silicon photocell containing a porous-silicon structure. *Technical Physics Letters*, 2013, vol. 39, iss. 11, pp. 945–948. DOI: 10.1134/S1063785013110114.
- [10] Timchenko S.L., Dement'eva O.Yu., Zadorozhnyy N.A. The influence on radiation spectrum characteristic curves of the solar battery. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh* [Physics in Higher Education], 2015, vol. 21, no. 1, pp. 87–97 (in Russ.).

Zadorozhny E.N. — student, Department of Welding and Diagnostics Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Komkova O.E. — student, Department of Information Security, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Klementeva S.V., Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Professor, Department of Industrial Management, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.