

УДК 620.92

Оценка эффективности внедрения солнечных генераторов в системе уличного освещения на примере территории университета

О.В. Новикова, Б.С. Артемьев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Email: novikova-olga1970@ya.ru bogdan-art@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время правительства многих стран активно проводят политику повышения энергетической эффективности и улучшения целевых показателей, к которым, в том числе, относится степень замещения традиционных источников возобновляемыми. Солнечные генераторы уже успешно применяются в автономных системах уличного освещения, однако для понимания применимости вышеупомянутых технологий в северных широтах требуется реальная оценка эффективности такого внедрения с учетом локальных особенностей и с выявлением пограничных параметров эффективности.

Материалы и методы: Для проведения расчетов использованы каталоги фирм-производителей, нормативно-правовые акты в области энергетической эффективности, учебные пособия, научные статьи, а также энергетический паспорт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, выступившего в качестве объекта, подходящего для расчетов по своему географическому положению. Расчеты проведены с применением методов статистического и сравнительного анализа, технико-экономического обоснования и компьютерного моделирования.

Результаты: Получены показатели экономической и энергетической эффективности для систем уличного освещения с применением светодиодных технологий и солнечных источников генерации для широт, близких к 59° с.ш. Найдены пороговые показатели экономической эффективности при использовании систем солнечных панелей мощностью 5,4 и 11,2 кВт для вышеуказанных целей с учетом роста цен на импорт в осенне-зимний период 2014 года.

Выводы: Установлено, что для широт, приблизительно равных 59° с.ш., возможно автономное использование солнечных генераторов в системах уличного освещения, обеспечивающее улучшение показателей энергетической эффективности. Однако для экономической обоснованности необходимо выполнение по крайней мере одного из трех условий: уменьшение удельной стоимости 1 Вт мощности солнечных генераторов; рост тарифов на электроэнергию до уровня, превышающего стоимость альтернативной генерации; компенсация затрат совместным высокорентабельным проектом.

Ключевые слова: солнечные батареи, светодиоды, энергоэффективность, инсоляция, уличное освещение.

Evaluation of solar generators implementation effectiveness in the system of street lighting of a university campus as an example

O.V. Novikova, B.S. Artemyev
Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation
Email: novikova-olga1970@ya.ru, bogdan-art@mail.ru

Abstract

Background: Currently, many governments are actively pursuing a policy of energy efficiency enhancement and improvement of key performance indicators which, among other things, include the degree of traditional sources substitution. Solar generators are already successfully applied in autonomous street lighting systems. However, to understand the applicability of the aforementioned technologies at northern latitudes, their implementation effectiveness should be assessed in view of local peculiarities and border performance indicators.

Materials and methods: The calculations were based on the catalogs of manufacturers, regulatory legal acts in the field of energy efficiency, training manuals, scientific publications and energy performance certificate of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, chosen as a suitable object for such calculations in terms of geographical location. The author applied methods of statistical and comparative analysis, feasibility study and computer simulation.

Results: The study has revealed indicators of economic and energy efficiency for LED street lighting systems and solar generators for latitudes close to 59° N. The calculations also identified the thresholds of economic efficiency of 5,4 kW and 11,2 kW solar panels used for the abovementioned purposes, taking into account the increase in import prices in the autumn and winter of 2014.

Conclusions: It has been established that it is possible to use solar generators in street autonomous lighting systems improving energy efficiency at latitudes approximately equal to 59° N. But economic feasibility can be ensured by fulfilling at least one of three conditions: reducing the unit cost of 1W of solar generators; increasing the electricity tariffs to a level that exceeds the cost of alternative generation; compensating for the costs by implementing combined highly profitable projects.

Key words: solar cells, light emitting diode, energy efficiency, insolation, street lighting.

DOI: 10.17588/2072-2672.2015.4.064-069

Сегодня вопросы эффективного использования природных ресурсов, применения экологических технологий и оборудования в промышленной и бытовой сферах являются крайне актуальными не только для России, но и для всего мира. Исследования, касающиеся альтернативной энергетики, сейчас ведутся практически во всех развитых государствах, и многие страны уже активно используют ее возможности. Наибольшая установленная мощность солнечных коллекторов на 2013 год была выявлена в Китае, Японии и США [3, 4]. Сегодня специалисты оценивают экономически доступный потенциал альтернативной энергетики в России примерно в 30 % от общего энергетического баланса страны, хотя климатические условия далеки от идеальных [4]. Интерес к альтернативным источникам энергии вызван необходимостью постепенного замещения исчерпаемых традиционных ресурсов более перспективными и экологически чистыми видами источников энергии. На всю поверхность Земли приходится более $1 \cdot 10^{14}$ кВт мощности солнечной энергии [5]. Если принять, что мощность всех видов энергоустановок на Земле составляет около 10 ТВт, то мощность солнечного излучения превышает современные потребности человечества в тысячи раз.

Перевод части объектов-потребителей на возобновляемые источники электрической энергии соответствует основным целям и задачам в области повышения энергетической эффективности. Это позволяет улучшить такие показатели, как удельное потребление энергетических ресурсов на душу населения, суммарную экономию первичного топлива, степень замещение традиционных источников возобновляемыми.

Оценка эффективности вариантов мероприятий по снижению энергопотребления систем уличного освещения в условиях северных широт, близких к 59° , была проведена на примере СПбПУ с применением современных технологий и альтернативных источников энергии.

Для проведения расчетов использовались каталоги фирм-производителей, нормативно-правовые акты в области энергетической эффективности и учебные пособия. Расчеты проведены с применением методов статистического и сравнительного анализа, технико-экономического обоснования и компьютерного моделирования.

В ходе работы требовалось решить следующие задачи:

1. Определить основные особенности и тенденции развития технологий солнечной энергетики, состояние и особенности рынка солнечных панелей в России и в мире и обосновать выбор возможных технических решений.

2. Оценить фактический уровень энергопотребления в СПбПУ на нужды уличного освеще-

щения в течение года в натуральном и стоимостном выражении (с указанием предпочтительной тарификации), а также режимы работы уличного освещения по месяцам.

3. Выявить необходимые объемы покрытия потребления при переходе на автономный режим работы с подпиткой от солнечных батарей при условии замены осветительного оборудования на светодиодное.

4. Предложить технологическое решение и рассчитать срок окупаемости инновационно-инвестиционного проекта.

В 1883 г. Чарльз Фритте сконструировал первый солнечный модуль на основе селена. КПД этого модуля составлял не более 1 %. В 30-х годах XX века советским физикам удалось впервые получить электрический ток, используя явление фотоэффекта на сернисто-таллиевых элементах. Изобретенные в 50-е годы американскими учеными кремниевые элементы позволили повысить КПД до 6 %. Сегодня для функционирования солнечных систем генерации электроэнергии применяются полупроводниковые фотоэлементы, которые представляют собой полупроводниковые диоды большой площади. Влетающий в рп-переход световой квант генерирует пару электрон-дырка, при этом на выходах фотоэлемента создается перепад напряжения (порядка 0,5 В). В настоящее время наиболее часто предлагаются фотоэлементы на монокристаллическом или поликристаллическом кремнии. Монокристаллический кремний обычно обладает показателем КПД 16–18 %, а поликристаллический – 12–14 %, однако поликристаллический обладает более низкой себестоимостью. В готовых панелях цена, рассчитанная за Ватт мощности, получается почти одинаковой, и монокристаллический кремний может оказаться выгоднее поликристаллического. По степени и скорости деградации, разница между представленными типами кремния практически отсутствует [1, 6].

Мировой рынок солнечной энергетики бурно развивается в последние годы. По данным исследовательской компании Lux Research (США), общий размер рынка уже к 2008 г. достиг 33,3 млрд долларов, или около 5 ГВт. К ведущим странам-производителям солнечных батарей относятся Китай, Япония, США, Германия и Великобритания. В России фотоэлектрические преобразователи практически не производятся, осуществляется только их сборка. Крупнейшие компании-производители солнечных батарей – Yingli Green Energy (Китай), First Solar (США), Suntech Power Co (Китай), Sharp Solar (Япония), Centrosolar Sonnenstromfabrik GmbH (Германия), BP Solar (Великобритания). Продукция этих и других компаний находится в свободном доступе для Российских покупателей. В настоящий момент по причине политических и экономических изменений в мире проще и дешевле всего

осуществлять поставки из Китая. В связи с этим выбор технического решения для реализации проекта был связан с оценкой предложений именно этой страны-производителя. В результате анализа рынка наилучшие показатели КПД (17,8 %) были выявлены у продукции фирмы HIMIN SOLAR. Дальнейшие расчеты проводились для солнечных панелей этой марки.

Сегодня на балансе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета числятся 11 площадок, являющихся потребителями электрической энергии. Была рассмотрена одна из площадок, находящихся на территории Санкт-Петербурга. Данные для составления балансов были взяты из Энергетического паспорта потребителя топливно-энергетических ресурсов ФГБОУВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» от 2012 года (табл. 1).

Тарифы, используемые для расчетов, установлены Распоряжением Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 20.12.2013 №565-р и применяются с 01.07.2014 по 31.12.2014. Одноставочный тариф равен 2,47 руб/кВт·ч. Двухставочный тариф равен 1,5 руб/кВт·ч в ночное и 2,49 руб/кВт·ч в дневное время.

Таблица 1. Потребление электроэнергии СПбПУ на 2011 базисный год по данным энергопаспорта

Показатель	Потребление электроэнергии, тыс. кВт·ч
Потребление электроэнергии всего	22 512,86
Потребление на освещение:	5 881,62
– внутреннее	5 357,04
– уличное	524,58

На 2011 год потребление электроэнергии на нужды освещения составило для СПбПУ 21 %. При этом доля уличного освещения в общих энергозатратах СПбПУ равна 2 %. Предположим, что уличное освещение является единственным потребителем электроэнергии в ночное время (дежурное освещение корпусов незначительно). Тогда при пересчете показателей энергопотребления за 2011 год по тарифам 2014 года получаем следующие цифры:

1. Стоимость аналогичного объема электроэнергии по одноставочному тарифу 2014 года равна 55 606 767 руб.

2. Стоимость аналогичного объема электроэнергии по двухставочному тарифу 2014 года равна 55 537 691 руб.

Полученные цифры очень близки, что позволяет сделать вывод о целесообразности применения двухтарифной ставки при доле затрат в ночной зоне тарификации от 2 % и выше от общего уровня энергопотребления. Учитывая строительство на территории СПбПУ нового

учебного корпуса (НУК) с подключенной мощностью 4 МВт и установку в нем мощного серверного оборудования с круглосуточным подключением к сети, целесообразно применять двухставочную тарификацию.

Общий объем потребления электроэнергии на уличное освещение в соответствии с данными энергетического паспорта в период с 2008 по 2011 год возрастал, и для нужд расчета выбрано значение показателя за 2011 год. На основании соотношения продолжительности светлого и темного времени суток в течение года энергопотребление на нужды уличного освещения было разнесено по месяцам (табл. 2).

Таблица 2. Потребление электроэнергии на нужды уличного освещения за 2011 год

Показатель	Ночь, часов	Наружное освещение (факт), тыс. кВт·ч	Наружное освещение, светодиодное (прогноз), тыс. кВт·ч
Январь	530	66	16
Февраль	414	51	12
Март	376	47	11
Апрель	281	35	8
Май	211	26	6
Июнь	190	24	6
Июль	160	20	5
Август	264	33	8
Сентябрь	336	42	10
Октябрь	408	51	12
Ноябрь	494	61	15
Декабрь	556	69	17
ИТОГО	4220	525	126

Приведенное в табл. 2 потребление (факт) должно быть полностью покрыто в случае перехода на автономную генерацию электроэнергии от солнечных батарей. Учитывая климатические особенности Северо-Западного региона и невысокие показатели инсоляции (табл. 3), перед внедрением источников на основе солнечных элементов рекомендуется максимально повысить собственную энергетическую эффективность существующей системы освещения (прогноз).

Было предложено два направления модернизации систем уличного освещения:

1. Замена 500 из существующих приборов ДНаТ-150 на светодиодные светильники мощность 36 Вт VILED CC M1-K-E-36-250.100.120-4-0-68 с обеспечением требуемого по СП 52.13330.2011 и ГОСТ 55706-2013 уровня освещенности территорий (подбор освещенности проводился в программе DIALUX).

2. Установка на крыше НУК солнечных панелей китайского производителя HIMIN SOLAR для частичной компенсации энергопотребления при сохранении подключения к сетям энергоснабжения.

Таблица 3. Суммы солнечной инсоляции для Санкт-Петербурга, кВт·ч/м²

На-клон па-нели	Ян-варь	Фев-раль	Март	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Август	Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь	Год
65,0°	19,3	51,0	98,1	101,7	126,3	121,3	127,2	114,4	87,9	54,6	33,8	22,0	957,6

Во время проведения исследования стоимость солнечных панелей в рублях претерпела существенные изменения в сторону резкого увеличения, что может быть вызвано неблагоприятной экономической и внешнеполитической ситуацией. В связи с этим все экономические расчеты в работе продублированы для исходных данных на октябрь 2014 года и на декабрь 2014 года. Сроки окупаемости и стоимостные показатели приведены для двух вариантов.

Система солнечного электроснабжения имеет свои особенности. В таких системах очень велико влияние погодных и сезонных климатических особенностей на колебания поступления энергии. Тем не менее, в отличие от ветрогенераторов, где ветер может дуть много дней подряд, а потом также много дней будет стоять безветрие, в солнечных системах поступление энергии регулярно прекращается каждую ночь, но каждый день оно возобновляется – в ясные дни в полной мере, а если погода пасмурная, то хотя бы в небольшой степени. Поэтому можно рассчитывать на конечную и вполне определенную длительность периодов полного отсутствия притока энергии. Уровень энергопотребления при замене осветительных приборов на светодиодные снижается на 76 % (по соотношению мощностей новых и старых светильников), что упрощает задачу покрытия.

Суммарный поток солнечного излучения, попадающего на приемную площадку на поверхности Земли, будет складываться из прямого, диффузного (рассеянного атмосферой) и отраженного излучения [1, 6]. Для расчетов выработки солнечных батарей используется показатель инсоляции, т.е. облучения поверхности солнечным светом. Наименьшие показатели инсоляции характерны для наиболее северных регионов. В России к таким относится полуостров Таймыр (74° с.ш.). Уровень инсоляции определялся по таблице месячной инсоляции для Санкт-Петербурга (59°57' с.ш.) при заданном угле наклона солнечной панели, ориентированной на юг (табл. 3).

Количество солнечной энергии, поступающей из атмосферы на приемную площадку, определяется как произведение энергии солнечного потока и косинуса угла его падения и достигает максимального значения, когда солнечные лучи падают на панель перпендикулярно. Оптимальным углом наклона солнечной батареи считается угол, приблизительно равный географической широте размещения плюс/минус 10–15°

(для зимы/лета соответственно) [1, 6]. Для расчета предположим этот угол равным 65°. Тогда годовая сума инсоляции будет равна 957,6 кВт·ч/м². Самыми неблагоприятными месяцами являются декабрь и январь с величиной инсоляции за месяц 22,0 и 19,3 кВт·ч/м² соответственно и наибольшим временем работы уличного освещения. При работе уличного освещения в январе 530 ч 1 светильник VILED потребляет 19,08 кВт·ч электроэнергии (против 79,5 кВт·ч до замены). За декабрь этот же светильник потребляет 20,02 кВт·ч.

На основе этих данных рассчитывается необходимая суммарная мощность солнечных батарей для покрытия энергопотребления одного светильника в самый неблагоприятный период по формуле

$$P_{сб} = \frac{(E_{сб} * P_{изл})}{(E_{инс} * \eta)}, \quad (1)$$

где $E_{сб}$ – объем необходимой месячной выработки; $P_{изл}$ – максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности (1 кВт); $E_{инс}$ – месячная инсоляция квадратного метра (из таблицы инсоляции); η – КПД передачи тока по проводам, контроллера и инвертора солнечной батареи (принятый 91 %).

Для покрытия объемов потребления одного светодиодного светильника в январе необходима установка солнечных панелей суммарной мощностью 1,086 кВт. В декабре необходимая мощность панелей будет равна 1 кВт. Такая система может быть собрана из 4 солнечных панелей по 250 Вт, контроллера заряда, инвертора 1,5 кВт и 2 аккумуляторных батарей 12 В 75 А·ч. Рост стоимости готовой системы такой мощности за период написания работы составил 27%. При общей стоимости готовой системы (без учета установки), равной 135,5 тыс. руб. (на октябрь 2014) и 172,1 тыс. руб. (на декабрь 2015), стоимость электроэнергии для батареи со сроком жизни 30 лет (максимально возможный) будет равна 5,2 руб/кВт·ч (на октябрь 2014) и 6,6 руб/кВт·ч (на декабрь 2015), что делает установку такой системы малопривлекательной. Цена генерируемой энергии напрямую связана с показателями капитальных затрат и сроком службы. Расчеты показали, что снижение стоимости возможно в некоторых случаях увеличения общей мощности системы. Эффект достигается за счет снижения удельных постоянных издержек на единицу мощности (табл. 4).

Таблица 4. Различные конфигурации систем на батареях Himin Solar и их стоимость за 1 Вт мощности

Мощность системы, Вт	1000	2000	3600	5400	11200
Стоимость 1 Вт, руб. (октябрь 2014)	136	131	129	102	93
Стоимость 1 Вт, руб. (декабрь 2014)	172	167	169	136	148
Рост цен за 2 месяца	27%	27%	31%	33%	59%

Таким образом, наиболее выгодной из предлагаемых систем на октябрь 2014 г. является система номинальной мощностью 11,2 кВт и ценой генерации на этот месяц 2,91 руб/кВт·ч. На декабрь 2014 г., с учетом роста цен, самой выгодной из предложенных становится система 5,4 кВт, с ценой генерации 5,2 руб/кВт·ч. Мы видим, что из-за изменения экономической ситуации удельная цена оптимального принимаемого решения возрастает почти в два раза.

Для того чтобы каждый 1 кВт мощности мог обеспечивать хотя бы 6 светильников, требуется исключить из рассмотрения автономность системы в октябре, ноябре, декабре и январе (эти месяцы дают 10, 50, 50, 30 и 20 % от необходимого минимума генерации соответственно). Для обеспечения возможности переключения потребителей на внешнюю сеть в эти месяцы рекомендуется установка ящика ввода на 2 источника питания (7000 руб.). На оставшиеся месяцы солнечные батареи мощностью 11,2 кВт способны обеспечить полную автономность 65 уличных светодиодных светильников по 36 Вт и сократить годовое потребление от внешней сети на 4250 кВт·ч. Батареи мощностью 5,4 кВт способны покрыть потребление 35 уличных светильников и сократить годовое потребление от внешней сети на 2290 кВт·ч. При дублировании комплектов солнечных панелей возможно кратное увеличение числа обслуживаемых приборов-потребителей. По ситуации на декабрь 2014 г. дублирование системы 5,4 кВт оказывается дешевле, но затраты все равно выше докризисных. В связи с этим был рассмотрен вариант с установкой системы без дублирования мощностей.

Для достижения нужных значений номинального напряжения и номинальной мощности панели можно объединять в последовательные сборки, которые затем коммутируются параллельно – аналогично тому, как коммутируется банк аккумуляторов. Как и в случае аккумуляторов, в одной сборке следует использовать только однотипные панели.

Система 11,2 кВт собирается из 56 солнечных панелей мощностью 205 Вт, 116 аккумуляторов 12 В и 150 А·ч, контроллера и инвертера на 10 кВт. Для установки требуется около 150 м² свободного пространства. Система 5,4 кВт собирается из 27 солнечных панелей мощностью

205 Вт, 48 аккумуляторов на 12В и 150 А·ч, контроллера и инвертера на 5 кВт. Для установки требуется около 70 м² свободного пространства. Площадь доступного крышного пространства НУК составляет около 7000 м². Таким образом, имеется возможность устанавливать такие системы на крышах других учебных корпусов, площадь которых меньше, чем площадь НУК.

Стоит также отметить, что в период эксплуатации солнечных панелей 11,2 кВт наблюдается превышение расчетной выработки над потреблением и накопление излишков энергии на аккумуляторах, изменяющееся в прямой пропорции от уровня инсоляции и в обратной от времени работы уличных светильников в рассматриваемый месяц. Превышение выработки достаточно для обеспечения дополнительного потребителя с круглосуточным режимом работы и реальной потребляемой мощностью: 150 Вт – март, 470 Вт – апрель, 990 Вт – май, 990 Вт – июнь, 1150 Вт – июль, 680 Вт – август, 137 Вт – сентябрь. Указанные мощности целенаправленно занижены на 10 % для сохранения запаса по объему аккумулируемой энергии на возможные энергопотери. Для СПбПУ в качестве такого потребителя в летний период может выступать насосное оборудование фонтана перед первым учебным корпусом, а также дежурное освещение. Для системы 5,4 кВт мощности возможных потребителей на март и сентябрь незначительны. Для остальных месяцев показатели в два раза ниже, чем для системы 11,2 кВт. Указанный выше резерв может быть учтен и использован по усмотрению проектировщика в случае внедрения системы с аналогичными параметрами.

При оценке окупаемости проекта был учтен ряд показателей, указанных в табл. 5.

Таблица 5. Расчетные параметры

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Закупка 500 светильников VILED CC M1-K-E-36-250.100.120-4-0-68	руб.	1 600 000
Монтаж светильников (30 % от стоимости)	руб.	480 000
Закупка готовой системы HIMIN SOLAR 11,2 кВт (октябрь 2014)	руб.	1 038 000
Монтаж и прочие расходы при внедрении системы (70 % от стоимости) (октябрь 2014)	руб.	726 600
Закупка готовой системы HIMIN SOLAR 5,4 кВт (декабрь 2014)	руб.	733 400
Монтаж и прочие расходы при внедрении системы (70 % от стоимости) (декабрь 2014)	руб.	513 400
Эксплуатационные затраты для системы	руб/год	40 000
Норма дисконта	%	10
Среднегодовой темп роста тарифов на электроэнергию	%	6

В эксплуатационные затраты входит плановое обслуживание системы, связанное с очи-

сткой панелей, контролем заряда аккумуляторов, проверкой исправности системы и корректировкой угла наклона панелей при переходе зима/лето.

В расчетах были рассмотрены периодичность и стоимость замены ламп ДНаТ.

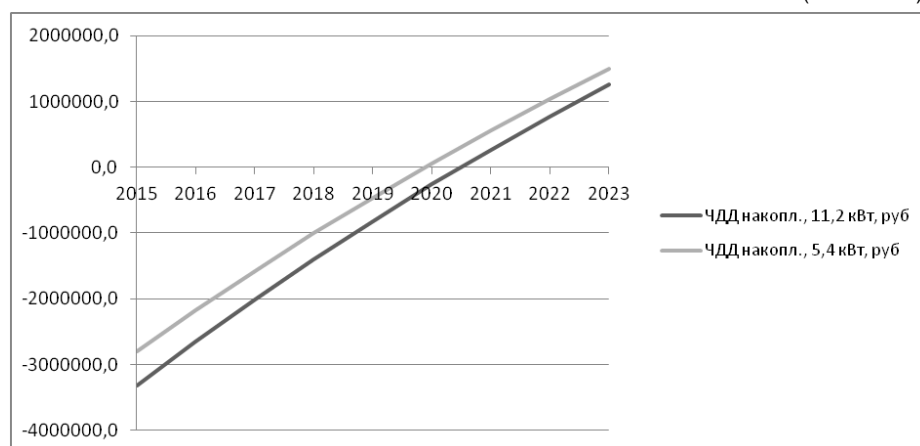
Окупаемость проекта в целом рассчитывалась при условии совмещения замены уличного освещения на светодиодное и внедрения солнечных источников генерации. Установка солнечных батарей отдельно, без комплексной модернизации систем уличного освещения, не рассматривалась в связи со слишком большим сроком окупаемости, превышающим 20-летний период. Расчеты сценариев по ценам на октябрь 2014 и по ценам на декабрь 2014 условно назовем «случай 1» и «случай 2» соответственно.

В случае 1, с учетом монтажных работ для системы 11,2 кВт, объем инвестиций на 2015 г. составит 3 844 600 руб. При ставке дисконтирования 10 % проект окупается к середине 2021 г. (при сроке службы солнечных батарей до 30 и светильников до 25 лет). Чистый дисконтированный доход (ЧДД) по проекту на конец 2021 г. составит 267 390 руб., в том время как накопленный ЧДД превысит отметку в 1 млн руб. уже к 2023 г.

В случае 2, с учетом монтажных работ для системы 5,4 кВт, объем инвестиций на 2015 г. составит 3 326 800. При ставке дисконтирования 10 % проект окупается к 2020 г., и на конец года составляет 60 690 руб. Оба случая представлены на рисунке.

Таким образом, внедрение альтернативных источников энергии на основе солнечных генераторов на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области может быть экономически целесообразным в трех случаях:

- при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии более 2,91 руб/кВт·ч (1 случай) и более 5,2 руб/кВт·ч (2 случая);



Окупаемость проекта. ЧДД накопленный, руб.

- при значительном падении удельной стоимости 1 Вт мощности солнечных батарей;
- при реализации проекта по внедрению солнечных источников энергии для покрытия увеличения нагрузки в условиях ограничения подключенной мощности.

При условии соблюдения хотя бы одного из вышеуказанных требований внедрение альтернативных источников генерации электроэнергии на основе солнечных батарей может окупаться и приносить доход даже при относительно низких показателях инсоляции. В любом из представленных случаев внедрение солнечных панелей позволяет улучшить значения показателей, относящихся к целевым показателям в области энергосбережения для региона.

Список литературы

1. **Кашкаров А.П.** Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 144 с.
2. **Центры** по альтернативной энергетике как перспективный проект ЮНИДО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unido-russia.ru/archive/num1/art18/> (дата обращения: 19.10.2014).
3. **Market report 2013.** EPIA-publications. European Photovoltaic Industry Association. URL: <http://www.webcitation.org/6OZUANczU> (05.11.2014).
4. **Global market outlook.** For Photovoltaics 2014-2018. EPIA-publications. European Photovoltaic Industry Association. URL: http://www.epia.org/file-admin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf (06.11.2014).
5. **Szargut Jan.** Exergy Method: Technical and Ecological Applications / Silesian University of Technology. – Gliwice, Poland: WIT Press, 2005. – 161 p.
6. **Duffie John.** Solar Engineering of Thermal Processes. – 3 Edition / John Wiley&Sons, Inc. – Hoboken, New Jersey, 2006. – 893 p.

References

1. **Kashkarov, A.P.** *Vetrogenerator, solnechnye batarei i drugie poleznye konstruksii* [Wind turbines, solar panels and other useful constructions]. Moscow, DMK Press, 2011. 144 p.
2. **Tsentry** po al'ternativnoy energetike kak perspektivnyy proekt YuNIDO [Centers for alternative energy as a promising UNIDO project]. Available at: <http://www.unido-russia.ru/archive/num1/art18/> (19.10.2014).
3. **Market report 2013.** EPIA-publications. European Photovoltaic Industry Association. Available at: <http://www.webcitation.org/6OZUANczU> (05.11.2014).
4. **Global market outlook.** For Photovoltaics 2014-2018. EPIA-publications. European Photovoltaic Industry Association. Available at: http://www.epia.org/file-admin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf (06.11.2014).
5. **Szargut, Jan.** *Exergy Method: Technical and Ecological Applications*. Gliwice, Poland: WIT Press, 2005. 161 p.
6. **Duffie, John.** *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley&Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2006. 893 p.

Новикова Ольга Валентиновна,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
кандидат экономических наук, доцент,
адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,
е-mail: novikova-olga1970@yandex.ru

Артемьев Богдан Сергеевич,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
бакалавр, студент-магистрант,
адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,
е-mail: Bogdan-art@mail.ru