Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 8, №6 (2016) http://naukovedenie.ru/vol8-6.php

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN616.pdf

Статья опубликована 27.12.2016

Ссылка для цитирования этой статьи:
Сурков М.А., Сумарокова Л.П. Оценка возможности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения уличного освещения в климатических условиях Сибири // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN616.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, Томск[1]
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: masur@yandex.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=551921
SCOPUS: http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56251888800

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

Оценка возможности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения уличного освещения в климатических условиях Сибири

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения фотоэлектрических модулей и накопителей энергии, для обеспечения электроэнергией системы наружного освещения в климатических условиях Сибири. Показана техническая возможность реализации автономных систем уличного освещения на примере освещения учебного корпуса ТПУ.

В результате проведенного исследования была получена солнечная инсоляция в зависимости от времени года для климатических условий города Томска. Проведен расчет оптимального угла наклона, для максимального отбора мощности. Проведен выбор и обоснование необходимого электрооборудования для солнечных панелей. Проведены расчеты и определены затраты на реализацию проекта.

Проведен технико-экономический расчет и сравнение эффективности по трем вариантам исполнения, в зависимости от выбора осветительных установок.

На примере автономной системы уличного освещения учебного корпуса, сделаны выводы об эффективности использования фотоэлектрических панелей в климатических условиях Томской области.

[1] 634050, г. Томск, ул. Усова, д. 7

Ключевые слова: наружное освещение; автономная система электроснабжения; фотоэлектрический модуль; энергия Солнца; уличное освещение

Вопросы эффективного использования природных ресурсов, совершенствования систем потребления электрической энергии, внедрения экологичных технологий в быту и на производстве актуальны как для России, так и для всех развитых стран мира. Исследования по использованию альтернативных и возобновляемых источников энергии проводятся практически во всех развитых станах мира. Одной из основных задач и целей в области повышения энергетической эффективности является частичное замещение традиционных исчерпаемых ресурсов на возобновляемые источники энергии. В данной работе проводится оценка возможности и эффективности использования солнечных панелей для уличного освещения в климатических условиях Сибири Российской Федерации. Объектом исследования был учебный корпус №8 НИ ТПУ (Национального исследовательского Томского политехнического университета). Объект находится в городе Томске, и расположен по адресу: Усова, 7. Координаты восьмого корпуса НИ ТПУ: 56°27′48″ северной широты и 84°57′16″ восточной долготы. [1].

Для оценки возможности применения возобновляемых источников энергии для электроснабжения объекта необходимо проводить энергетическую оценку региона, с определением энергетического потенциала солнечной инсоляции в исследуемой местности.

Проведенные исследования [2-4] показали, что гелиоэнергетические ресурсы, возможные к применению в Томской области, изменяются в заданных пределах. Можно выделить три основные зоны распределения гелиоэнергетических ресурсов:

I - юго-западную часть Томской области, со средней годовой суммой суммарной радиации на горизонтальную 1100-1200 кВт·ч/м^2. В данных условиях возможна стабильная работа гелиосистем;

II - центральную часть Томской области. Распределение энергоресурсов находится в пределах 1000-1100 кВт·ч/м^2, что позволяет использовать установки средней и малой мощности;

III - северо-восточную часть Томской области, где отсутствуют возможность использования крупных и средних солнечных систем. А потенциал находится в пределах 900-1000 кВт·ч/м^2.

Объект исследования находится юго-западной части Томской области, где возможна стабильная работа солнечных панелей.

Для расчета годового потока солнечной радиации $Э^г_{год}$ использовался упрощенный численный метод расчета:

- определяются значения расчетных средних дней каждого месяца;
- значения $R_h^{max}{}_i$ для каждого *i*-ого месяца для средних дней с номером n_i (i = 1,…, 12) определялись по формуле (1):

$$R_h^{max}{}_i = R^{max} \cdot \cos\vartheta(n_i). \quad (1)$$

- определялись значения $Э_{hi}$ для средних дней месяца, по которым построили график $Э_h(t)$ (см. рис. 1) в течение года. Значение $Э^г_{год}$ определялось по формуле трапеций (2) [5, 6]:

$$Э^г_{год} = \sum_1^{11}(Э_{hi} + Э_{hi+1}) \cdot \delta t_{i+1} + \delta Э_1 + \delta Э_1 + \delta Э_{13}, \quad (2)$$

где $Э_{hi}$ и $Э_{hi+1}$, ($\frac{кВт \cdot ч}{м^2 \cdot сутки}$) - значения потока солнечной радиации за первые 15 дней января и последние 16 дней декабря в предположении линейного закона изменения солнечной радиации в данных интервалах между $Э_0$, $Э_1$ и $Э_2$, а также $Э_{11}$, $Э_{12}$ и $Э_{13}$, то есть:

$$\delta Э_1 = 0{,}5 \cdot (Э_0 + Э_1) \cdot 15, \quad (3)$$

$$\delta Э_{13} = 0{,}5 \cdot (Э_{12} + Э_{13}) \cdot 16, \quad (4)$$

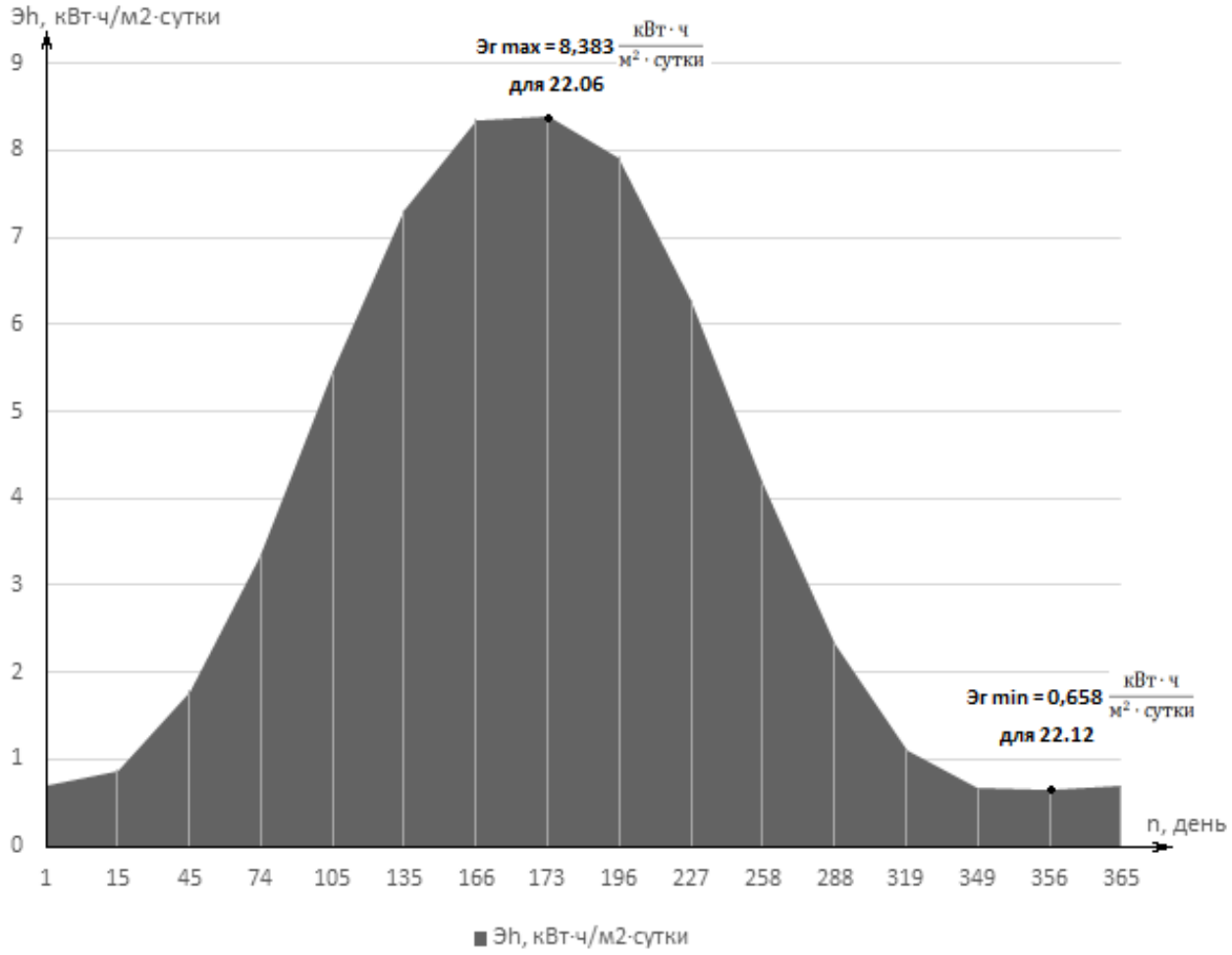

Рисунок 1. *Расчётная модель для определения годового значения солнечного излучения $Э_{год}$ (разработан авторами)*

Для оценки оптимального угла ориентации площадки был произведен расчет среднемесячного дневного и годового прихода солнечной радиации на площадку, ориентированную строго в южном направлении под углом β = 0°, 33°, 56,5°, 80° и 90° по методу Лю и Джордана. Результаты расчета представлены на рисунке 2. Оптимальный угол установки площадки выбирался по максимальному значению $Э_\beta$ *(β°)* для каждого месяца года.

Из расчётных данных рис следует, что наиболее дефицитным в плане выработки электрической энергии является период с ноября по февраль. В этот период сокращается продолжительность солнечного дня, и как следствие снижается суммарный поток солнечной радиации, который приходит на фотоэлектрический модуль.

Получить значительную добавку в выработке электрической энергии в период с ноября по февраль, можно, установив фотоэлектрический модуль под углом β = *80°* к горизонту с ориентацией на юг. Основные потери прихода солнечной радиации для β = *80°* по сравнению с *β(t) = var* имеют место в III, IV, V, VI, VII, VIII, IX и X месяцах при значительной добавке в

I, II, XI и XII которая компенсирует потери в указанные выше месяцы и является более существенной для стабильной работы осветительной установки.

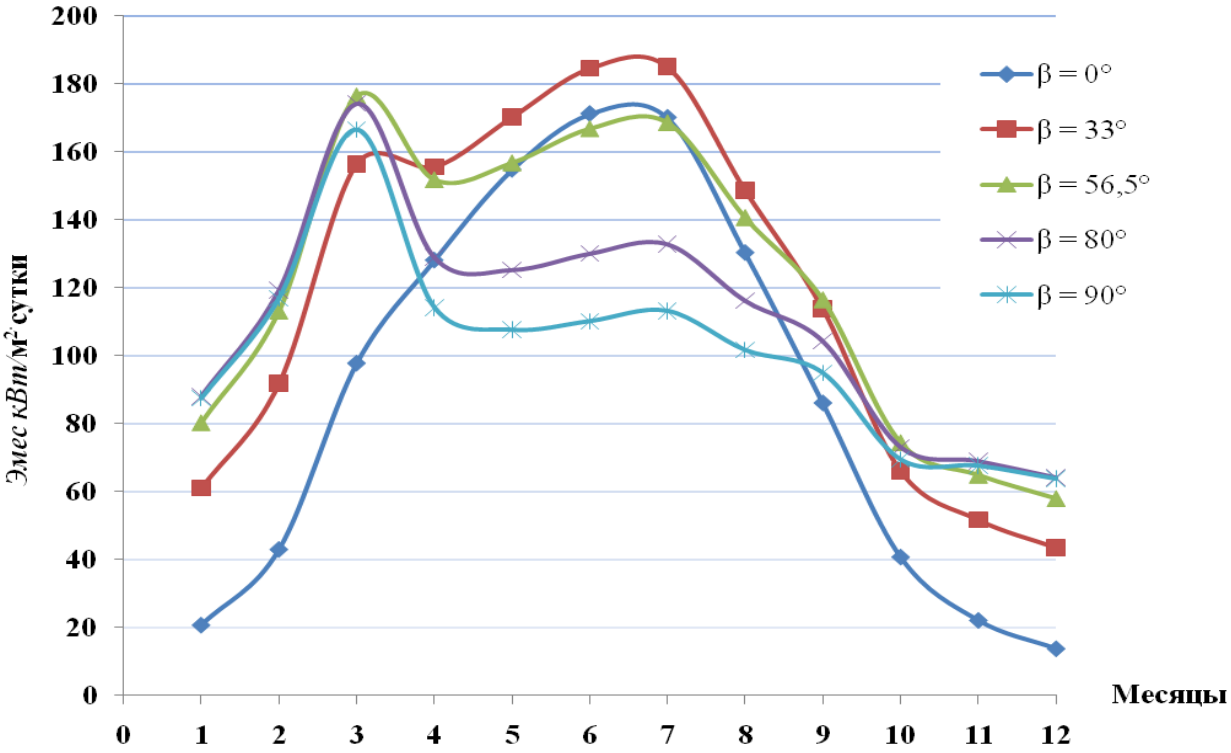

Рисунок 2. *Графики изменения солнечной радиации Э по месяцам в зависимости от угла наклона площадки и длительности каждого месяца (разработан авторами)*

При изучении изменения мощности солнечной радиации в течение года, можно сделать вывод, что эффективная работа солнечных панелей возможна в период с апреля по август. В другие месяцы, в результате уменьшения солнечного излучения, эффективность гелиоэнергетических систем необходимо проверять. [2, 7, 10].

В состав автономной солнечной электростанции входят: фотоэлектрические модули (солнечные батареи), аккумуляторные батареи, а также электронный блок, содержащий контроллер, следящий за работой батарей, зарядный блок и инвертор для преобразования постоянного напряжения в переменное 220 В частотой 50 Гц.

Установленная мощность солнечных батарей обеспечивает выработку энергии, обеспечивающую бесперебойную работу уличного освещения в течение суток. В ночное время суток, предполагается использование аккумуляторных батарей. Излишки мощности, сбрасываются на дополнительное балластное сопротивление.

Структурная схема электроснабжения уличного освещения представлена на рисунке 3.

Выбор светильников и определение потребления электроэнергии

С целью определения оптимального варианта архитектурной подсветки фасада учебного корпуса №8 НИ ТПУ, был проведен сравнительный анализ для трёх осветительных приборов разной мощности PSD-70 мощностью 70 Вт, NL-60 мощностью 60 Вт, 70 и PSD-30 мощностью 30 Вт. По результатом сравнения трех вариантов в качестве архитектурной подсветки фасада учебного корпуса №8 ТПУ было предложено использовать 36

светодиодных прожекторов PSD-70, предназначенных для наружного и внутреннего освещения промышленных объектов, внутри дворовых территорий, строительных площадок.

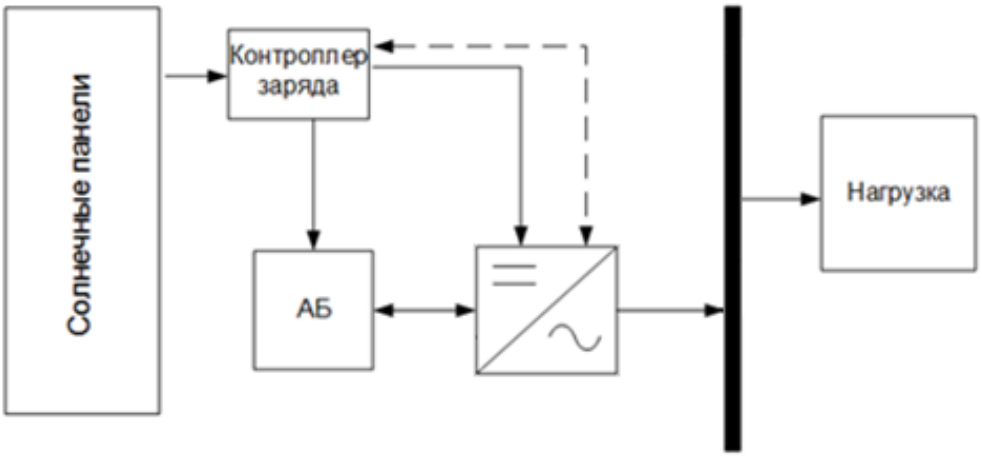

Рисунок 3. *Структурная схема электроснабжения (разработан авторами)*

Расчётная мощность, потребляемая светодиодными прожекторами, составила: $P_{нагр.} = 0{,}07 \cdot 36 = 2{,}52$ кВт.

Среднее потребление электроэнергии по сезонам в течении суток составляет: весной 24,86 кВт·ч; летом 18,63 кВт·ч; осенью 34,03 кВт·ч и зимой 40,27 кВт·ч.

С целью минимизации начальных капитальных вложений на реализацию проекта, а также для снижения потребления электрической энергии, было принято решение отключать половину прожекторов с 22:00 часов до восхода Солнца, в период зимних, весенних и осенних месяцев.

Проект наружного освещения фасада учебного корпуса №8 ТПУ со стороны пересечения ул. Усова и ул. Советская был смоделирован в программе DIALux и изображен на рисунке 4.

Наружное освещение после 22:00 часов, осуществляется половиной светильников. Проект наружное освещение фасада учебного корпуса №8 ТПУ после 22:00 часов, изображен на рисунке 5.

В качестве фотоэлектрических модулей использовались кремниевые монокристаллические солнечные элементы фирмы Yingli PANDA Solar с модулями типа YL300C-30b, мощностью 300 Вт.

Расчёт необходимого количества фотоэлектрических модулей, выполнялся в три этапа:

1. Определялась суммарная площадь солнечных панелей $S_{\Sigma}^{сп}$, которая необходима, для выработки требуемого количество электрической энергии и обеспечения стабильной работы осветительной установки в декабре месяце. Для этого зимнего месяца характерны самые неблагоприятные условия выработки и потребления электрической энергии - короткий световой день и большое энергопотребление.

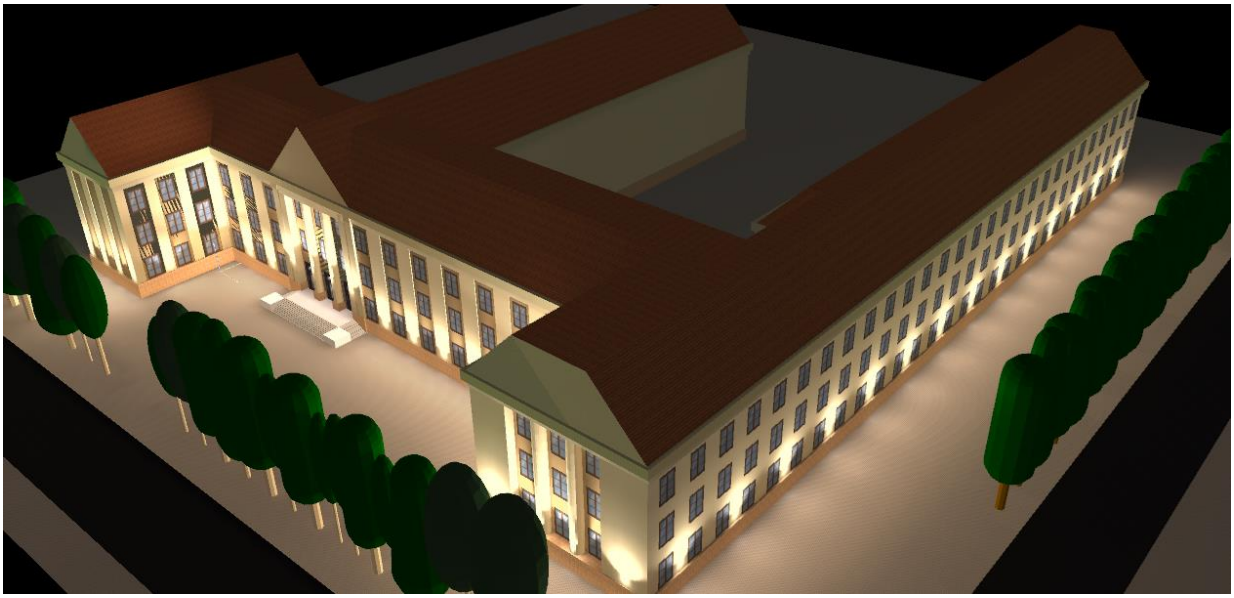

Рисунок 4. *Наружное освещение фасада прожекторами PSD-70 (рисунок авторов)*

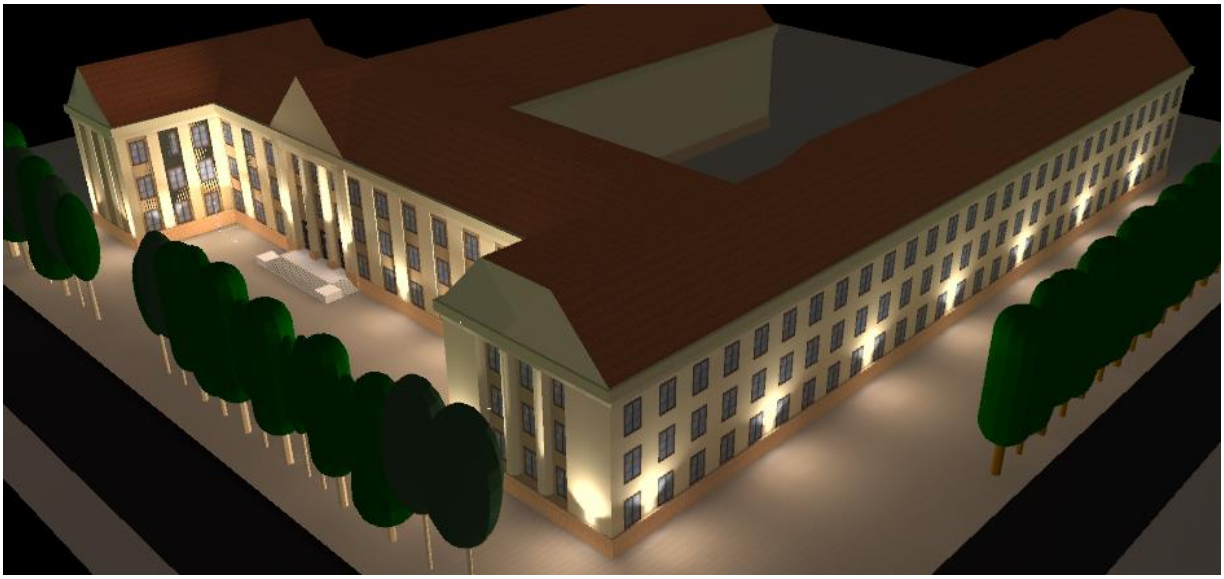

Рисунок 5. *Наружное освещение фасада прожекторами PSD-70 после 22:00 (рисунок авторов)*

Суммарная площадь солнечных панелей $S_{\Sigma}^{сп}$, м^2 рассчитывалась по формуле (6):

$$S_{\Sigma}^{сп} = \frac{W_{нагр}}{W_{инс} \cdot (\eta_{сп} \cdot \eta_{инв} \cdot \eta_{зу} \cdot \eta_{акб})}, \quad (5)$$

где: $W_{нагр}$ - энергия потребляемая нагрузкой, кВт·ч/сутки;$W_{инс}$ - солнечная инсоляция на наклонную площадку $\beta = 80°$, кВт·ч/м^2·сутки; $\eta_{сп}$ - КПД солнечной панели, принимался $\eta_{сп}$ = 15% из условия деградации кремневых структур по окончанию 25-летнего срока эксплуатации; $\eta_{инв}$ - КПД инвертора, принимался $\eta_{инв}$ = 93%; $\eta_{зу}$ - КПД зарядного устройства, принимался $\eta_{зу}$ = 98%; $\eta_{акб}$ - КПД аккумуляторной батареи, принимался $\eta_{акб}$ = 94%.

$$S_{\Sigma}^{сп} = \frac{29,316}{2,065 \cdot (0,15 \cdot 0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,94)} = 110,5\ м^2.$$

2. Площадь одной стандартной солнечной панели $S_{1сп}$ равна:

$$S_{1сп} = a \cdot b, \quad (6)$$

где: a - длина солнечной панели, м. (для выбранной модели); b - ширина солнечной панели, м (для выбранной модели).

$$S_{1сп} = 1{,}64 \cdot 0{,}99 \approx 1{,}6 \text{ м}^2.$$

3. Количество солнечных панелей $n_{сп}$, определяем путём деления требуемой суммарной площади солнечных модулей $S_{\Sigma}^{сп}$ на величину площади одной стандартной солнечной панели $S_{1сп}$.

$$n_{сп} = \frac{S_{\Sigma}^{сп}}{S_{1сп}}, \quad (7)$$

где $n_{сп}$ - количество солнечных панелей, шт.

$$n_{сп} = \frac{110{,}5}{1{,}6} = 69{,}04 \text{ шт. принимаем } n_{сп} = 70 \text{ шт.}$$

Выбор контроллеров заряда для фотоэлектрических модулей

В схеме предлагается использовать последовательно-параллельное соединение солнечных панелей рис. Применяя такое соединение панелей, можно регулировать напряжение и ток на выходе из системы нескольких панелей, что позволяет подобрать наиболее оптимальный режим работы всей солнечной электростанции [8, 9]. Соединив по 5 панелей параллельно и затем объединим два массива по 5 панелей, соединив их последовательно (рисунок 6) получим следующее: номинальное напряжение на выходе будет равно сумме двух последовательно соединенных массивов панелей 48 В, напряжение холостого хода будет равно 80,2 В, а ток при этом будет равен 45,8 А.

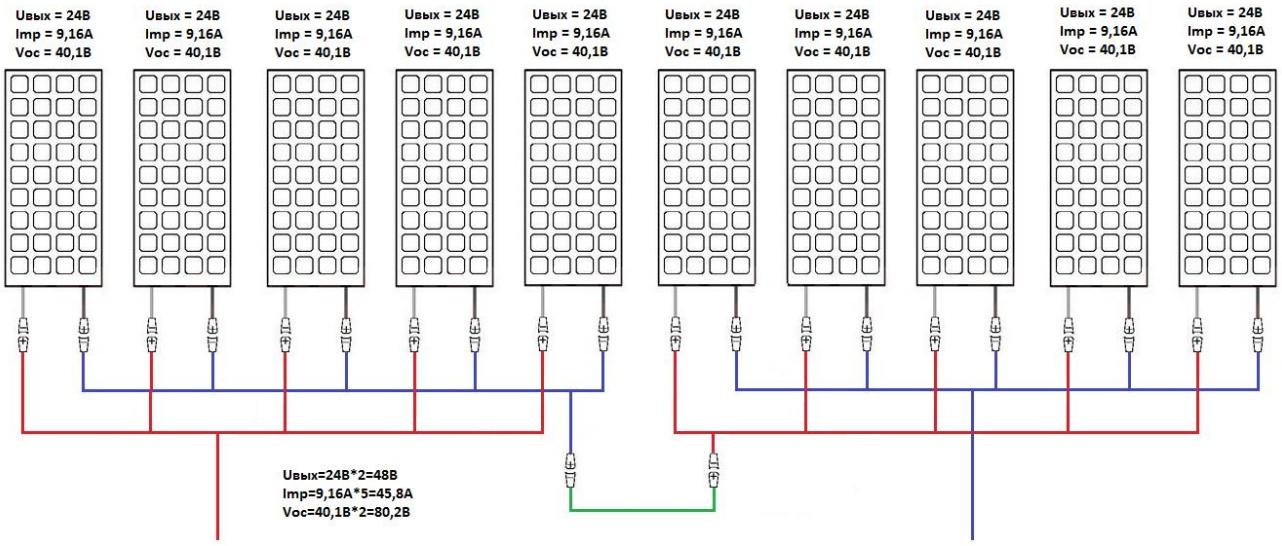

Рисунок 6. *Схема последовательно-параллельного соединения панелей (разработано авторами)*

Оптимальным вариантом для системы из 10 солнечных панелей, является последовательно-параллельное соединение, при таком соединении фотоэлектрических модулей выполняются условия выбора контроллер заряда по току, и по напряжению. Номинальное напряжение на выходе матрицы солнечных панелей составляет 48В, что соответствует рабочему напряжению основных элементов системы электроснабжения:

инвертора, контроллеров заряда и аккумуляторных батарей. Условие выбора контроллер заряда по току:

$$\frac{1,25 \cdot n \cdot P_{сп}}{U_{акб}^{min}} \leq I_{зар}^{max}, \quad (8)$$

где: n - количество солнечных панелей подключенных к контроллеру, шт.; $P_{сп}$ - номинальная мощность солнечной панели, Вт; $U_{акб}^{min}$ - напряжение аккумуляторных батарей в разряженном состоянии, В; $I_{зар}^{max}$ - максимальный ток заряда контроллера, А.

$$\frac{1,25 \cdot 10 \cdot 300}{44} A \leq 100A;$$

Данные вычисления показывают, что выбирать контроллеры следует из линейки устройств с выходным током не ниже 85,23 А. Исходя из параметров, оптимально подходит контроллер заряда ECO Энергия MPPT Pro 200/100 с выходным током 100 А.

Для осветительной нагрузки с прожекторами PSD-70, необходимо 7 контроллеров заряда ECO Энергия MPPT Pro 200/100, каждый контроллер рассчитан на массив из 10 солнечных панелей.

Выбор числа и типа аккумуляторных батарей

Выбираем литий-ионные аккумуляторные батареи типа LT-LYP200 ёмкостью 200 А·ч. При производстве аккумуляторов LT-LYP200 используется наноструктурированный катодный материал литий-железо-фосфат ($LiFePO_4$). Аккумуляторы на его основе имеют высокую плотность энергии, безопасны и просты при производстве, что делает их сравнительно недорогими и доступными [7, 11].

Максимальную энергию, которую необходимо запасти аккумуляторам для бесперебойной работы осветительной нагрузки за сутки найдем в декабре: 29,316 кВт·ч.

Необходимая общая емкость аккумуляторов:

$$E = \frac{W_{нагр}}{U_{акб} \cdot k}, \quad (9)$$

где: E необходимая общая емкость аккумуляторов, А·ч; $U_{акб}$ - номинальное напряжение аккумуляторной батареи, В;$W_{нарг}$ - количество энергии, которое нужно получить от аккумуляторных батарей, кВт·ч;k - коэффициент использования емкости, учитывающий, какую часть энергии аккумуляторов, можно реально использовать потребителем (k = 0,8).

$$E = \frac{29,316 \cdot 10^3}{3,2 \cdot 0,8} = 11451,6\ А \cdot ч$$

Количество аккумуляторных батарей:

$$n = \frac{E}{E_1 \cdot K}, \quad (10)$$

где: E_1 - емкость одной аккумуляторной батареи, А·ч; K - коэффициент полезного действия литий-ионной аккумуляторной батареи (K = 0,94).

$$n = \frac{11451,6}{200 \cdot 0,94} = 60,91 шт.$$ Принимаем 64 шт.

Проверка блоков аккумуляторных батарей по напряжению:

$$U_{инв} = U_{акб} \cdot n_{акб}, \quad (11)$$

где: $U_{инв}$ - входное постоянное напряжение инвертора, В; $U_{акб}$ - постоянное напряжение одного аккумулятора, В.

Устанавливаем 4 блока аккумуляторных батарей по 16 аккумуляторов в каждом блоке.

Общая стоимость оборудования

Для сравнительный анализа рассматриваемых вариантов было проведено технико-экономическое сравнение, результаты которого сведены в таблицу 1.

Из таблицы 1 видно, что самый экономичный вариант системы электроснабжения наружного освещения с применением фотоэлектрических модулей потребует 1,54 млн. рублей. Самым дорогой в реализации проект автономной системы электроснабжения наружного освещения учебный корпус №8 ТПУ обойдется в 3,43 млн. рублей, а преимуществом реализации этого дорогостоящего проекта является превосходное качество архитектурной подсветки фасада учебного корпуса №8 ТПУ и прилегающей к нему территории.

Таблица 1

Результаты технико-экономического сравнения (разработана авторами)

Оборудование		Прожекторы PSD-70	
Название	Стоимость за шт., руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб.
Фотоэлектрический модуль Yingli PANDA Solar YL300C-30b	22841	72	1644552
Инвертор напряжения MeanWell TS-3000(1500)-248В 48V	62000 (38000)	1	62000
Контроллер заряда ECO Энергия MPPT Pro 200/100	38900	7	272300
Литий-ионные аккумуляторы LT-LYP200	14000	64	896000
Комплект крепежных изделий для солнечных батарей	9321	35	326235
Автоматический выключатель ВА47-29	81	3	243
Кабель ВВГнг 3×2,5 мм^2	34 руб./м	-	-
Кабель ВВГнг 3×6 мм^2	80 руб./м	500	40000
Кабель ВВГнг 3×35 мм^2	132 руб./м	140	18480
Щиток освещения ОЩВ-6	1287	1	1287
Светодиодный (LED) прожектор: - PSD-70 - светильник NL-60 - PSD-30	 3845 7380 1035	36	138420
Кабель-канал 25х20 металлический окрашенный	78	250	19500
Труба гофрированная ПНД 40 мм	74	140	10360
Итого:	-	-	3429377

Заключение

В данной работе проведен анализ возможности использования гелиоэнергетических ресурсов на примере уличного освещения объекта находящегося в городе Томске.

С использованием среднечасовых и среднесуточных расчетов была определена выработка электроэнергии автономной фотоэлектрической установкой за год.

Приведена методика выбор основного оборудования фотоэлектрических панелей, работающих автономно в условиях Томской области.

Проведенный расчет показывает возможность и целесообразность использования солнечных панелей для выработки электрической энергии у маломощных потребителей в климатических условиях Томской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвак В.В., Силич В.А., Яворский М.И. О создании рынка энергии на основе программы энергосбережения Томской области // Энергосбережение по Томски. Сборник статей, докладов и выступлений / Под. ред. Уйманова В.Н. - Томск: Изд-во Том. ун-та. 2001. - 204 с.
2. Кадастр возможностей / Под ред. Б.В. Лукутина. - Томск: Изд-во НТЛ, 2002. - 280 с.: ил. 6.
3. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении. - М.: Энергоиздат, 2008. - 231 с.
4. Саврасов В.Ф., Шапошников А.Г., Юрченко А.В., Юрченко В.И. Развитие систем на базе солнечных батарей // Военная техника, вооружение и современные технологии при созданиипродукции военного и гражданского назначения: Матер. IV Междунар. технол. конгр. - Омск, 2007. - С. 268-271.
5. 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.
6. Разработка методики оценки эффективности применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для энергосбережения и повышения энергоэффективности организаций РАО «ЕЭС России» / Отчет о НИР № 20-345. - Томск., 2001. - 266 с.
7. 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.
8. 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.
9. Бакин Н.Н., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Ушеренко А.А., Юрченко А.В. Результаты климатических испытаний солнечной батареи в натурных условиях г. Томска // Оптика атмосферы и океана, 1998. - Т. 11, №12. - С. 1337-1340.
10. Yurchenko A., Kozlov A., Volkov A. Climatic and hardware factors influencing the output performances of silicon modules in Siberia and the far east conditions // Photovoltaic Solar Energy: Proc. of XXII European Conf. - Valencia, Spain, 2008. - P. 2989-2991.
11. 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.

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

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

The assessment of the feasibility of photovoltaic installations for power supply for street lighting in the climatic conditions of Siberia

Abstract. In the article the possibility of application of photovoltaic power plants for electricity supply of the street lighting system in the climatic conditions of Siberia. It is shown the technical possibility of implementing the Autonomous street lighting systems on the example of lighting of educational building TPU.

The technique of assessing the technical possibility of using solar panels, depending on climatic conditions. In the process of the study assessed solar insolation in the city of Tomsk, the optimal tilt angle of solar panels, the calculation and selection of necessary equipment for solar power plant with energy storage, the economic costs of the project, design exterior lighting of educational building №8 TPU in the program the DIALux.

Conducted feasibility study and compare the effectiveness of three versions, depending on the choice of lighting installations. On the example of Autonomous street lighting system of the educational case, the conclusions about the effectiveness of the use of photoelectrolysis in the climatic conditions of the Tomsk region.

Keywords: outdoor lighting; standalone power supply system; photovoltaic module; solar energy; street lighting