

УДК 620.9

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Ширяев Александр Дмитриевич

Магистрант 1 курса кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.
E-mail: a.d.shiryaev@rambler.ru

Крюков Кирилл Александрович

Ассистент кафедры физики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.
E-mail: jeki55@mail.ru

Аннотация

В статье произведена оценка возможности применения солнечных электростанций для электроснабжения города Санкт-Петербурга Российской Федерации. Рассмотрены основные виды фотоэлектрических электростанций: сетевые, автономные и гибридные. Проведен технико-экономический расчет фотоэлектрического модуля (ФЭМ) HVL-395/HJT в климатических условиях города Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: солнечная энергетика Санкт-Петербурга; гибридная система; сетевая система; автономная система; солнечная электростанция; альтернативные источники энергии.

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS ON THE TERRITORY OF THE CITY OF ST. PETERSBURG

Alexander D. Shiryaev

1st year master's student of the Department of Thermal Power Plants and Heat Engines of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg, Ivan Chernykh str., 4.
E-mail: a.d.shiryaev@rambler.ru

Kirill A. Kryukov

Assistant of the Department of Physics of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg, Ivan Chernykh str., 4.
E-mail: jeki55@mail.ru

ABSTRACT

The article evaluates the possibility of using solar power plants for the power supply of the city of St. Petersburg of the Russian Federation. The main types of photovoltaic power plants are considered: network, autonomous and hybrid. The technical and economic calculation of the HVL-395/HJT photovoltaic module (PVM) in the climatic conditions of the city of St. Petersburg was carried out.

Keywords: solar energy of St. Petersburg; hybrid system; grid system; autonomous system; solar power plant; alternative energy sources.

С точки зрения развития солнечной энергетики в городе Санкт-Петербурге возможно применение фотоэлектрических панелей на крышах и фасадах зданий, что позволит не занимать свободные территории в черте и на окраинах города для постройки солнечных электростанций (СЭС).

Существует три основных вида СЭС: сетевые, автономные и гибридные [1].

Сетевые СЭС работают параллельно с централизованной электросетью и преимуществом такого способа работы является отсутствие накопителей энергии. В этом случае вся вырабатываемая электроэнергия расходуется на внутренние нужды потребителя, а если возникает недостаток энергии, то он автоматически компенсируется из централизованной сети. Поставка избыточной электрической энергии, которая вырабатывается на солнечных электростанциях, теоретически возможна в сеть, однако это сопровождается сложностями организации таких поставок.

Автономные СЭС вырабатывают электрическую энергию изолированно от централизованных сетей и, соответственно, имеют аккумуляторы для накопления энергии. Как правило, солнечные электростанции данного типа устанавливаются в случае недоступности или нестабильности централизованной электросети.

Гибридные СЭС работают параллельно с централизованной электросетью и имеют аккумуляторы. В случае недостатка электрической энергии, вырабатываемой на солнечной электростанции, дефицит энергии восполняется из централизованной сети. Гибридная солнечная электростанция состоит из следующих элементов:

1. Фотоэлектрические модули (ФЭМ) – полупроводниковые устройства, которые трансформируют поступающую от Солнца энергию в постоянный электрический ток.
2. Инверторы – устройства, преобразующие постоянный электрический ток в переменный.
3. Контроллеры заряда – устройства, которые защищают фотоэлектрические модули от перезаряда.
4. Аккумуляторы – устройства, накапливающие электрическую энергию.
5. Солнечные кабели – кабели с изоляцией, защищающие медные жилы кабеля от агрессивного воздействия окружающей среды.
6. Коннекторы – соединительные элементы солнечных модулей.
7. Опорные конструкции с трекерами – конструкции, которые фиксируют модули на площадке и позволяют менять угол наклона солнечных панелей. Это способствует к большему количеству выработки электрической энергии за счет оптимизации угла наклона в зависимости от сезона года, а также снижает потребность в очищении модулей от снега.
8. Распределительные устройства – элементы, которые распределяют электрическую энергию.

Для оценки эффективности работы фотоэлектрических установок (ФЭУ) на территории города Санкт-Петербурга в качестве примера используем солнечный модуль HVL-395/НТ стоимостью 25690 рублей, производимый отечественной компанией «Хевел» в России. Электрические, температурные и эксплуатационные характеристики модуля приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Технические характеристики солнечного модуля HVL-395/НТ

Номинальная мощность	395 Вт
Эффективность	19,75%
Линейная гарантия производительности	30 лет
Гарантия на модуль	15 лет
Рабочая температура	от -40 до +85°C
Номинальная рабочая температура	38,8°C
Количество сторон	2
Размеры (ДхШхТ)	1996x1002x30 мм
Вес	32 кг
Ток в рабочей точке P_{max}	8,76 А
Ток короткого замыкания	9,21 А
Напряжение холостого хода	53,18 В
Технология модуля	Гетероструктурная
Напряжение в рабочей точке P_{max}	44,84 В
Максимальное напряжение системы	1500 В
Макс. статическая нагрузка лицевая	5400 Па
Макс. статическая нагрузка задняя	3800 Па

При номинальной мощности солнечной электростанции в 1 МВт необходимо 2532 солнечных модулей HVL-395/НТ с общей стоимостью 65 млн. рублей. Расходы на опорные конструкции и монтажные работы в среднем составляют 30% от стоимости оборудования. Исходя из действующих проектов «Хевел» и по данным компаний, представленных на российском рынке, капитальные затраты с учетом стоимости основного оборудования, опорных конструкций и монтажных работ на 1 МВт установленной мощности солнечной электростанции составляет 100-130 млн. рублей [3].

Солнечным модулям свойственно небольшое снижение производительности с течением времени. По данным российских и иностранных компаний, в среднем деградация панелей составляет 0,5-0,6% от годовой выработки, однако снижение производительности солнечных модулей за 25 лет работы не превышает 15%.

Технико-экономический расчет фотоэлектрической установки производился по месяцам в зависимости от уровня солнечной инсоляции (рисунок 1) [4].

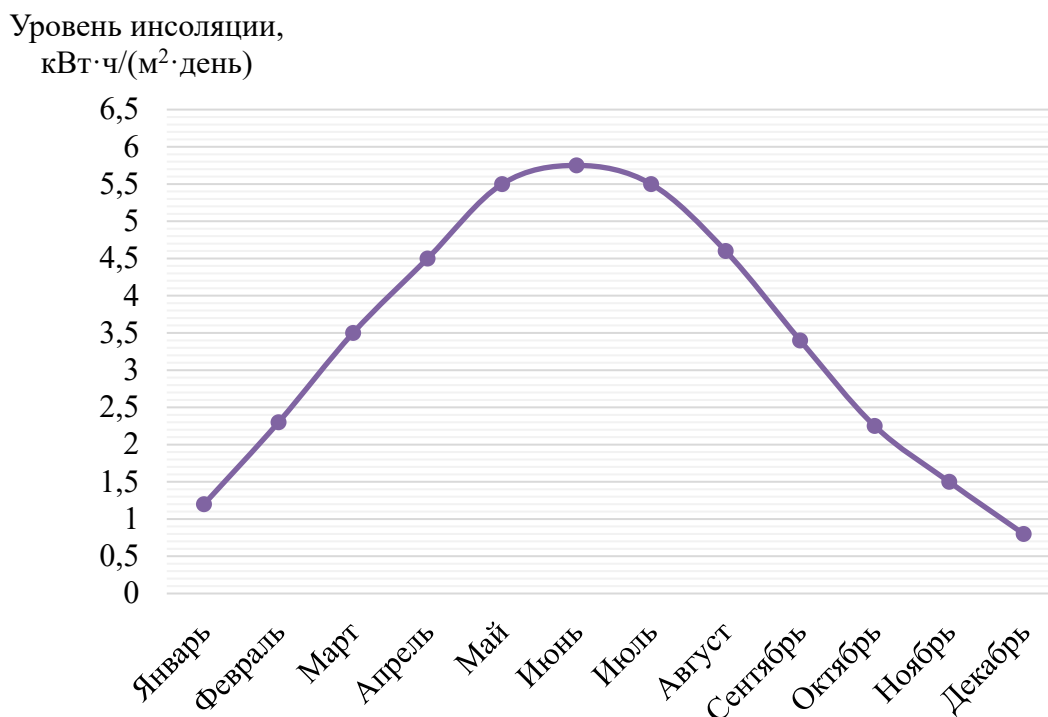


Рисунок 1 – Удельный уровень инсоляции в г. Санкт-Петербурге

1) Уровень солнечной инсоляции за месяц январь:

$$E = E_{\text{уд}} \cdot n = 1,2 \cdot 31 = 37,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2,$$

где $E_{\text{уд}}$ – удельный уровень солнечной инсоляции (рисунок 1), кВт·ч/(м²·день);

n – количество дней в расчетном месяце.

Аналогичным образом вычисляется месячный уровень солнечной инсоляции для каждого месяца, а также годовой уровень солнечной инсоляции. Результаты представлены в таблице 2.

2) Полезная мощность одного солнечного модуля:

$$P_{\text{пол}} = R \cdot F = 1100 \cdot 1,999992 = 2199,99 \text{ Вт},$$

где $F = 1996 \cdot 10^{-3} \cdot 1002 \cdot 10^{-3} = 1,999992 \text{ м}^2$ – площадь солнечного модуля;

R – уровень освещенности, Вт/м².

3) КПД одного солнечного модуля [5]:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{пол}}} = \frac{395}{2199,99} = 0,1795 \text{ (17,95\%)},$$

где P – номинальная мощность, Вт;

$P_{\text{пол}}$ – полезная мощность, Вт.

4) Выработка электрической энергии солнечным модулем в январе [5]:

$$W_{\text{м}} = E \cdot F \cdot k \cdot \eta = 37,2 \cdot 1,999992 \cdot 0,7 \cdot 0,1795 = 9,35 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где E – уровень месячной солнечной инсоляции, кВт·ч/м²;

F – площадь солнечного модуля, м²;

η – КПД одного солнечного модуля;

k – коэффициент, учитывающий поправку на потери мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также наклонное падение лучей на поверхность модулей в течение года.

Принимается $k = 0,5$ летом и $k = 0,7$ в зимний период. Разница в его значении летом и зимой обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период.

Выработка электрической энергии солнечным модулем за остальные месяцы рассчитывалась аналогичным образом. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет месячной и годовой солнечной инсоляции, количества электрической энергии, вырабатываемой солнечным модулем

Месяц	$E_{уд}$ кВт ч/(м ² день)	n, дни	E , кВт · ч/м ²	W_M , кВт · ч
Январь	1,2	31	37,2	9,35
Февраль	2,3	28	64,4	16,18
Март	3,5	31	108,5	27,27
Апрель	4,5	30	135,0	29,08
Май	5,5	31	170,5	30,60
Июнь	5,75	30	172,5	30,96
Июль	5,5	31	170,5	30,60
Август	4,6	31	142,6	25,60
Сентябрь	3,4	30	102,0	21,97
Октябрь	2,25	31	69,75	15,02
Ноябрь	1,5	30	45,0	11,31
Декабрь	0,8	31	24,8	6,23
Всего		365	1242,75	254,17

5) Срок окупаемости одного фотоэлектрического модуля:

$$T = \frac{C + I_0}{W_T \cdot C_{кВт\cdotч}}$$

$$T = \frac{45000 + 45000 \cdot 0,2}{254,17 \cdot 4} = 53 \text{ года,}$$

где W_T – годовая выработка электроэнергии, кВт · ч;

C – цена реализации, руб.;

I_0 – издержки на обслуживание фотоэлектрической установки, которые составляют 0,5-1,5% от капитальных затрат в год, руб.;

$C_{кВт\cdotч}$ – стоимость 1 кВт · часа электрической энергии в Санкт-Петербурге, руб./кВт · ч.

6) Себестоимость 1 кВт · часа электрической энергии, вырабатываемой ФЭУ:

$$S = \frac{C}{W_T} = \frac{45000}{254,17} = 177,05 \text{ руб./кВт · ч,}$$

где W_T – годовая выработка электроэнергии, кВт · ч;

C – цена реализации ФЭУ, руб.

По данным таблицы 2, произведено построение графика зависимости вырабатываемой электрической энергии фотоэлектрической установкой на базе фотоэлектрического модуля HVL-395/HJT от времени года (рисунок 2).

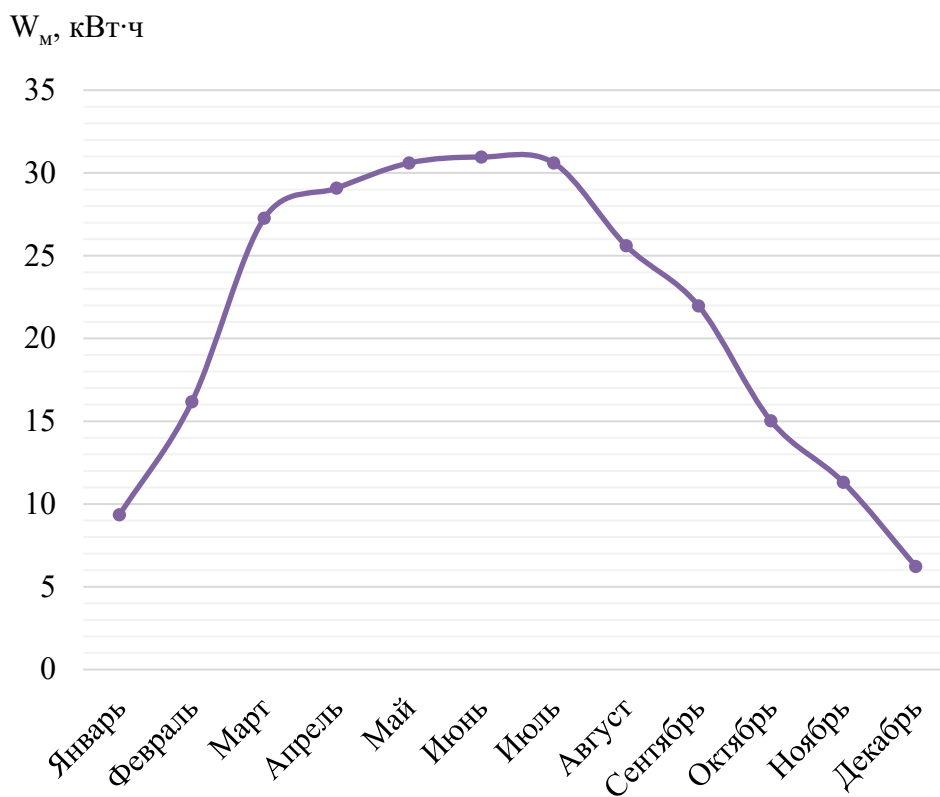


Рисунок 2 – Количество вырабатываемой электроэнергии ФЭМ по месяцам

Из приведенного выше расчета видно, что применение фотоэлектрических установок в городе Санкт-Петербурге является экономически неэффективным, так как за свой период работы ФЭУ не окупится и себестоимость 1 кВт · часа электрической энергии, вырабатываемой солнечным модулем, имеет чрезвычайно большое значение в сравнение с другими альтернативными источниками энергии, применение которых возможно на данных территориях, и традиционными источниками. Например, стоимость 1 кВт · часа электрической энергии у теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – 1,94 руб./кВт · ч , ветроэнергетической установки (ВЭУ) – 17,91 руб./кВт · ч, ФЭУ – 177,05 руб./кВт · ч [6].

Следует отметить, что в расчете использовалась солнечная электростанция, состоящая из одного фотоэлектрического модуля. На практике же СЭС комплектуется из большего количества модулей, что улучшает экономические характеристики энергетического объекта.

Список литературы:

1. Ланьшина Т.Н. Несубсидируемый рынок солнечной энергетики в России: в ожидании взрывного роста / Т.Н. Ланьшина. – Москва, 2021. – 42 с.
2. Солнечный модуль HVL-395/HJT // URL: <https://spb.hevelsolar.com/catalog> (date accessed: 01.11.2022).
3. Солнечная энергетика для бизнеса и дома // URL: <https://spb.hevelsolar.com/> (date accessed: 01.11.2022).

4. The POWER Project // URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (дата обращения: date accessed: 01.11.2022).
5. Кирпичникова И.М., Соломин Е.В. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие к практическим занятиям / И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 50 с.
6. Сабзалыев, С. А. Анализ развития возобновляемой энергетики в России / С. А. Сабзалыев, М. С. Липатов // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем : Материалы Всероссийской научно - практической конференции обучающихся и преподавателей. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 17 декабря 2020 года. – Санкт-Петербург: СПбГУПТД, 2021. – С. 6-10.

References:

1. Lanshina T.N. The non-subsidized solar energy market in Russia: in anticipation of explosive growth / T.N. Lanshino. – Moscow, 2021. – 42 p.
2. Solar Module HVL-395/HJT // URL: <https://spb.hevelsolar.com/catalog/> (date accessed: 01.11.2022).
3. Solar energy for business and home // URL: <https://spb.hevelsolar.com/> (date accessed: 01.11.2022).
4. The POWER Project // URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (date accessed: 01.11.2022).
5. Kirpichnikova I.M., Solomin E.V. Renewable energy sources: a textbook for practical classes / I.M. Kirpichnikova, E.V. Solomin. – Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 2009. – 50 p.
6. Sabzaliev, S. A. Analysis of the development of renewable energy in Russia / S. A. Sabzaliev, M. S. Lipatov // Power engineering, management and automation: innovative solutions to problems : Materials of the All-Russian Scientific and practical conference of students and teachers. In 2 parts, St. Petersburg, December 17, 2020. – St. Petersburg: SPbGUPTD, 2021. – pp. 6-10.