

Технико-экономический анализ гибридной зарядной станции для электросамокатов в различных климатических зонах

Е. В. Константинов, Н. Р. Костик, А. А. Забелинский
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
ramiro366@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность использования фотоэлектрических модулей для создания специальных зарядных станций для электросамокатов, что позволит снизить финансовые затраты на их зарядку. В результате был получен технико-экономический анализ работы станции в различных регионах, который показал снижение затрат на зарядку в процентном соотношении от 31 % до 36 %.

Ключевые слова: электрические средства индивидуальной мобильности, солнечная фотовольтаика (PV), зарядные станции для электротранспорта

I. ВВЕДЕНИЕ

Рост количества автомобилей на дорогах приводит к ухудшению экологической обстановки, а также сильно влияет на время в пути от точки А в точку В. В последнее время в мире вводятся различного уровня проекты по отказу от использования ископаемого топлива, переходу на возобновляемую энергетику и развитие транспорта с электрической силовой установкой.

А. Текущее состояние проблемы

Проблема электромобилей заключается в том, что время в пути от точки А в точку В остается неизменно большим. Различные компании развивают сеть арендуемых электросамокатов, позволяющих минуя пробки добраться до пункта назначения, например, станции метро [1–4]. Но эти компании не могут должным образом повлиять на связанную с ними инфраструктуру. Как следствие, самокаты часто беспорядочно разбросаны вблизи входов на станции метро, торговых центров и т. д. [5].

Множество исследователей в последние годы предпринимали попытки использовать солнечные модули для зарядки электротранспорта. Например, Khan в работе [6] представил обзор существующих элементов EV инфраструктуры, а именно существующие зарядные станции для электротранспорта с уровнями зарядки и стандартами, их принцип работы, безопасность и бизнес-

модель, возможность внедрения солнечных модулей в их работу, а также исследовал технический взгляд на проблему окружающей среды и экономики.

Saxena [7] предлагает новый подход к внедрению аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) в инфраструктуру солнечных электростанций для обеспечения энергией потребителей, в том числе ночью и в облачных погодных условиях. Также обсуждается использование специальных методов контроля заряда, повышающих эффективность использования BESS. В результате была получена система электроснабжения жилого здания номинальной мощностью 2,2 кВт, которая подключена к сети общего пользования и способна работать с различными помехами без передачи их на питание нагрузки.

На основании исследованных работ можно сделать вывод, что использование возобновляемых источников энергии и электротранспорта является перспективным и более выгодным, чем использование ископаемого топлива, но из-за низкой эффективности существующих возобновляемых источников энергии и трудностей с их внедрением в сетевую инфраструктуру, зеленая энергетика пока не получила широкого распространения.

В. Цель исследования

В основе работы лежит разработка специальной зарядной станции с солнечными модулями, на которую будут упорядоченно ставиться самокаты и заряжаться на ней. Также в работе представлен технико-экономический и сравнительный анализ работы станции в различных климатических зонах.

В данной статье происходит разбивка на следующие главы:

В разделе II описывается работа сервисов по аренде электросамокатов в Санкт-Петербурге. Раздел III содержит схему и описание принципа работы разрабатываемой зарядной станции. Раздел IV представляет технико-экономический анализ работы зарядной станции в различных климатических зонах.

II. МЕТОДОЛОГИЯ

А. Описание принципа работы сервисов по аренде электросамокатов

С точки зрения пользователя сервисы аренды в Санкт-Петербурге работают следующим образом. С мобильного телефона открывается специальное приложение, в котором на карте отображаются ближайшие доступные самокаты, отображается уровень их заряда, запас хода и набор тарифов, по которым можно пользоваться самокатом. После выбора самоката в приложении он становится доступен к поездке, по завершении поездки его нужно оставить в месте, не мешающем пешеходам.

Также у подобного бизнеса есть техническая сторона, связанная напрямую с обеспечением работоспособности каждого самоката в парке. Несколько раз в день сотрудники кикшеринга по мобильному приложению отслеживают разряженные электросамокаты, добираются до них и просто заменяют аккумулятор на заряженный, затем снятые аккумуляторы доставляют в сервисный центр для подзарядки [8].

Разработанная зарядная станция может решить проблему локализованного размещения электросамокатов как для пользователей, так и для служб технического обслуживания. Предлагаемая парковка с зарядной станцией дает пользователям и обслуживающему персоналу возможность находить специализированные пункты зарядки для быстрого и легкого доступа к транспорту, без необходимости отслеживать каждый самокат. Возврат электросамокатов в пункты зарядки может привести к получению некоторых льгот или скидок для пользователей.

III. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

А. Разработка зарядной станции с солнечными модулями

Зарядная станция состоит из следующих частей:

- Короб с электроникой: контроллер+инвертор, зарядные устройства для самокатов, клеммы для подключения станции к сети.
- Стойка для 4 электросамокатов с разъемами для зарядки.
- Три солнечных модуля мощностью 330 Вт, выполненных по технологии НПТ/НТ в верхней части станции.

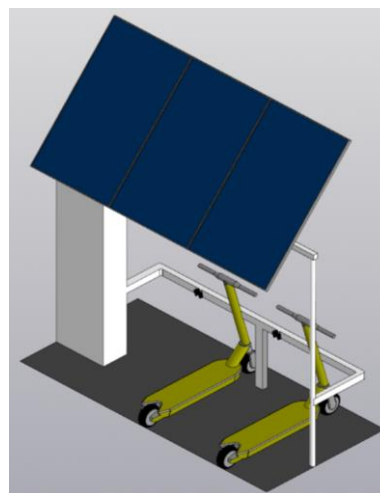


Рис. 1. Модель зарядной станции

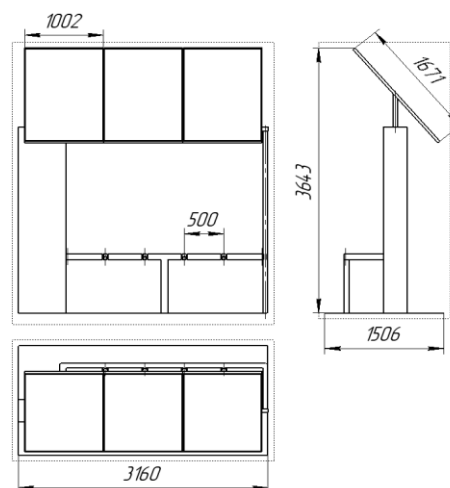


Рис. 2. Чертеж с основными размерами зарядной станции

В. Выбор конкретной модели электросамоката для расчета

В кикшеринге в Санкт-Петербурге наиболее распространена модель электросамоката Ninebot Max Plus с аккумулятором с напряжением 36 В и емкостью 15,3 А·ч (551 Вт·ч) со временем полной зарядки от оригинального зарядного устройства мощностью 121 Вт порядка 6 часов [8, 9]. В последующих расчетах будем опираться именно на эти данные.

С. Принцип работы зарядной станции

Алгоритм работы станции заключается в следующем. Ночью самокаты заряжаются на станции от сети. В течение дня происходит выработка электроэнергии на модулях; если все самокаты полностью заряжены или на зарядной станции нет самокатов, то сгенерированная энергия продается в сеть. Если на станции есть самокаты, которые нуждаются в зарядке, вырабатываемая электроэнергия будет использоваться для питания зарядной станции. Если солнечной активности недостаточно для автономной зарядки, можно использовать одновременно выработку электроэнергии из фотоэлектрических панелей и подключение к электросети.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

А. Экономическая и энергетическая выгода зарядной станции

Для данной станции были выбраны солнечные модули Hevelsolar на 330 Вт [10]. Мощность массива солнечных модулей была оптимизирована таким образом, чтобы станция не занимала много пространства (чтобы умещалась на площади не более 5 м²), а также была способна сгенерировать энергию, достаточную для зарядки одновременно 4 электросамокатов. Каждый самокат заряжается отдельным зарядным устройством мощностью 121 Вт [9]. Итоговая нагрузка составила 121 4 = 484 Вт.

Также выбрали сетевой солнечный инвертор SOFAR 1100TL со встроенным контроллером [11]. Он обладает достаточной для наших целей мощностью (1100 Вт), способен самостоятельно отслеживать точку максимальной мощности, отдавать излишки в сеть и компенсировать из сети дефицит энергии для питания нагрузки.

Также данная станция содержит в себе принцип масштабируемости, то есть выбранные модели компонентов системы можно заменять и изменять их количество, тем самым наращивая мощность станции.

Воспользовавшись данными с NASA POWER Data Access Viewer [12], получили графики суточной инсоляции, находящейся в Санкт-Петербурге. Согласно статистике, снег в Санкт-Петербурге выпадает в октябрь-ноябре, а тает в апреле [13]. Так как передвигаться на самокате по снегу небезопасно, кикшеринг в это время года не работает. По этой причине данные об инсоляции были взяты за период с 1 мая по 31 октября.

Из этих данных получили графики генерации (рис. 4), которые рассчитывались по следующей формуле:

$$G = I \cdot s \cdot \eta_{mod} \cdot \eta_{cont} \cdot Q, \quad (1)$$

где G – генерация энергии [Вт], I – падающее излучение [Вт/м²], s – площадь модуля [м²], η_{mod} – КПД модуля, η_{cont} – КПД инвертора+контроллера, Q – количество модулей.

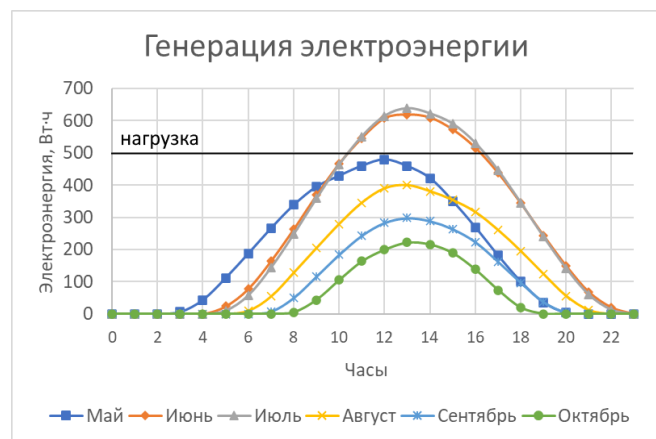


Рис. 3. График почасовой выработки энергии

ТАБЛИЦА I. ПИКОВЫЕ И СУММАРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

| Месяц | Пиковое значение, Вт | Суммарная генерация, кВт·ч | Энергия из сети, кВт·ч | Энергия из сети, % | Излишки энергии, кВт·ч |
|----------|----------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| Май | 479,44 | 140,67 | 231,33 | 62,19 | 0,00 |
| Июнь | 619,42 | 183,13 | 191,04 | 53,07 | 14,17 |
| Июль | 638,15 | 188,47 | 200,50 | 53,90 | 16,97 |
| Август | 399,92 | 108,93 | 263,07 | 70,72 | 0,00 |
| Сентябрь | 297,84 | 67,76 | 292,24 | 81,18 | 0,00 |
| Октябрь | 221,90 | 42,67 | 329,33 | 88,53 | 0,00 |
| Сумма | - | 731,62 | 1 507,51 | - | 31,13 |

Получили, что в течение рабочего времени в году станция будет способна обеспечивать полностью автономную зарядку самокатов лишь в пиковые часы в июне и июле. В остальные месяцы она будет питаться от станции и сети. В табл. I представлены доли потребления энергии в случае использования комбинированного питания зарядной станции.

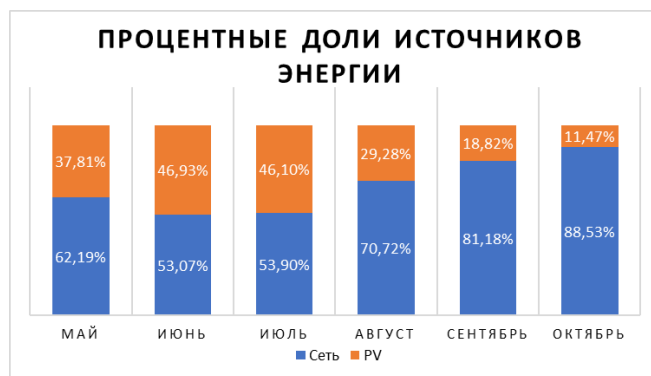


Рис. 4. Процентные доли источников энергии в питании нагрузки в сценарии «Сеть+PV»

Для последующих экономических расчетов были использованы данные о стоимости электроэнергии в Санкт-Петербурге при одноставочном тарифе для организаций, равном 7,43 руб./кВт·ч [14]. В табл. II показана сумма затрат на электроэнергию в сценариях питания от сети и комбинированного питания.

ТАБЛИЦА II. СТОИМОСТЬ ПОТРЕБЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ СПОСОБОВ ЕЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ

| Месяц | Затраты на использованную электроэнергию, Руб. | | Разница | |
|----------|--|----------------|----------|-------|
| | Только сеть | Сеть + станция | Руб. | % |
| Май | 2 763,96 | 1 718,78 | 1 045,78 | 37,81 |
| Июнь | 2 674,80 | 1 391,18 | 1 283,62 | 47,99 |
| Июль | 2 763,96 | 1 441,64 | 1 322,32 | 47,84 |
| Август | 2 763,96 | 1 954,61 | 809,35 | 29,28 |
| Сентябрь | 2 674,80 | 2 171,37 | 503,43 | 18,82 |
| Октябрь | 2 763,96 | 2 446,96 | 317,00 | 11,47 |
| Итого | 16 405,44 | 10 765,79 | 5 639,65 | - |

Из табл. II и рис. 4 видно, что затраты на электроэнергию в июне и июле снижаются почти вдвое.

В случае, когда нагрузка питается как от станции, так и от сети, все еще существуют периоды, в течение которых станция продает избыточную энергию в сеть. Для расчета используется стоимость продажи 1 кВт·ч в сеть по льготному тарифу, которая составляет 2

рубля/кВт·ч [15]. Общая энергия будет рассчитана с использованием следующих формул:

$$C_{grid+CS} = C_{sum} - C_{sales}, \quad (2)$$

$$C_{sales} = \sum \text{излишки генерации} \cdot 2 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} = \\ = 31,13 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 2 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} = 62,27 \text{ руб.}$$

$$C_{grid+CS} = 10765,79 \text{ руб.} - 62,27 \text{ руб.} = 10703,52 \text{ руб.}$$

где $C_{grid+CS}$ – итоговая стоимость энергии, купленной из сети в сценарии работы «зарядная станция+сеть», C_{sum} – сумма затрат на энергию из сети в этом же сценарии (последняя строка в табл. II), C_{sales} – проданная в сеть энергия (сумма излишков энергии из табл. I).

Также данные, представленные в табл. II, позволяют оценить разницу между средствами, затраченными на эксплуатацию зарядной станции при нагрузке 500 Вт с сетевым и комбинированным питанием:

$$S = \left(1 - \frac{C_{grid+CS}}{C_{grid}} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

$$S = \left(1 - \frac{10703,52 \text{ руб.}}{16405,44 \text{ руб.}} \right) \cdot 100\% = 34,76\%$$

где S – экономия, C_{grid} – стоимость энергии при питании только от сети.

В. Сравнительный анализ работы станции в различных климатических зонах

В данном пункте работы представлено сравнение результатов работы станции в других климатических зонах. Анализ проводился аналогично Петербургскому сценарию. Для расчетов использовались данные о стоимости электроэнергии [14, 15, 16–20], инсоляции и средней температуре в выбранных городах [12, 13]. Рабочие промежутки времени для кикшеринга выбрали следующие:

- Стамбул: с 1 апреля по 31 декабря (274 дня);
- Дубай, Бангкок и Сингапур: круглый год (365 дней).

В Стамбуле снежный покров сохраняется в течение января–февраля. В Дубае, Бангкоке и Сингапуре средняя температура в году превышает 25°C, следовательно, снежный покров там не наблюдается [12].

Результаты анализа работы системы в различных климатических зонах представлены в табл. III–V.

ТАБЛИЦА III. МАКСИМАЛЬНАЯ СУТОЧНАЯ ИНСОЛЯЦИЯ И ГЕНЕРАЦИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

| Город | Максимальная суточная инсоляция, Вт·ч/м²/день | Максимальная суточная генерация, Вт·ч/день | Суммарные излишки генерации, кВт·ч/год |
|-----------------|--|---|---|
| Санкт-Петербург | 664,04 (июль) | 657,09 (июль) | 31,13 |
| Стамбул | 799,34 (июль) | 790,97 (июль) | 168,34 |
| Дубай | 918,19 (май) | 908,59 (май) | 462,22 |
| Бангкок | 870,79 (февраль) | 861,67 (февраль) | 327,03 |
| Сингапур | 780,07 (февраль) | 771,91 (февраль) | 188,59 |

ТАБЛИЦА IV. ГОДОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

| Город | Длительность работы станции в год, дней | Годовая генерация электроэнергии, кВт·ч/год | Разница с генерацией в Санкт- Петербурге, % |
|-----------------|--|--|--|
| Санкт-Петербург | 184 | 731,62 | - |
| Стамбул | 274 | 1 217,46 | +68,29 |
| Дубай | 365 | 2 055,79 | +184,17 |
| Бангкок | 365 | 1 861,96 | +157,38 |
| Сингапур | 365 | 1 649,30 | +127,98 |

ТАБЛИЦА V. СУММАРНЫЕ ИЗЛИШКИ ГЕНЕРАЦИИ, СРЕДНЕГODOVOE ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТИ В ПИТАНИИ НАГРУЗКИ И ЭКОНОМИЯ СРЕДСТВ НА ЗАРЯДКУ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

| Город | Ст-ть эн-и, Руб./кВт т·ч | Исп-е сети, %/год | Эк-я средств на зарядку, Руб/год | Эк-я средств за 184 дня, %/период | Эк-я средств за 365 дня, %/период |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|---|---|--|
| Санкт-Петербург | 7,43 | 68,12 | 5 701,92 | 32,21 | 21,55 |
| Стамбул | 5,58 | 67,62 | 6 385,25 | 62,21 | 31,22 |
| Дубай | 8,30 | 63,11 | 13 410,31 | 69,90 | 36,89 |
| Бангкок | 8,30 | 64,47 | 12 916,85 | 67,96 | 35,53 |
| Сингапур | 17,36 | 66,19 | 25 710,14 | 66,87 | 33,81 |

Было получено, что зарядная станция наиболее эффективна при использовании ее в Сингапуре и Дубае вследствие высокого уровня инсоляции и стоимости электроэнергии для ИП в данных регионах [18, 20]. С учетом климатических особенностей и выбором рабочего промежутка работы кикшеринга в году, станции, расположенные в Санкт-Петербурге и Стамбуле, способны приблизиться к процентным значениям экономии средств на зарядку электросамокатов в Дубае и Бангкоке, однако, оборот средств там будет куда ниже, в связи с чем, значительно возрастет срок окупаемости системы.

С. Планы на будущее

В будущем планируется доработка модели зарядной станции, направленная на улучшение ее стойкости ветровым нагрузкам, рассматривается возможность внедрения аккумуляции энергии для обеспечения более энергоэффективной зарядки электросамокатов в условиях недостаточной освещенности. На данный момент в работе более детальный экономический анализ, связанный с исследованием потенциальной экономии времени и расходов кикшеринговой компании на топливо.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа рассматривает возможность внедрения солнечных модулей в конструкцию зарядной станции и оценки экономической пользы от ее использования. Были разработаны алгоритмы работы станции, модель, подобраны необходимые компоненты станции и модель электросамоката для расчета. На основе данных об инсоляции в условиях различных климатических зон был проведен технико-экономический анализ работы зарядной станции с солнечными модулями, включая расчет доли потребления генерируемой энергии и энергии из сети в режиме постоянной нагрузки 500 Вт. Для станции, находящейся в Санкт-Петербурге, получили следующие данные по генерации и потреблению: 731,62 кВт·ч энергии, произведенной на станции, и 1507,51 кВт·ч энергии, потребляемой из сети за 10765,79 руб. в год, избыток энергии составил 31,13 кВт·ч и эквивалентен 62,27 руб. в год. Без солнечных модулей для постоянной нагрузки в 500 Вт потребуется 1507,51 кВт·ч, что обойдется в 16405,44 руб. Без нагрузки избыточная энергия, вырабатываемая фотоэлектрическими модулями, составит 731,62 кВт·ч в год, цена продажи составит 1465,24 рубля в год.

Было получено, что в условиях Санкт-Петербурга система способна оказать положительное влияние на качество услуг по прокату самокатов за счет создания специальных мест для хранения самокатов, что также влечет за собой рост их доступности для пользователей и обслуживающего персонала. С экономической точки зрения наблюдается снижение потребления электроэнергии из сети и соответствующих затрат на 32 % для периода с мая по октябрь. В других рассмотренных регионах экономия затрат на зарядку и целесообразность проекта в целом выше вследствие более высокого уровня солнечной инсоляции и стоимости покупки электроэнергии (в 2–3 раза выше, чем в Санкт-Петербурге). Она достигает от 31 % до 36 % в год для южных стран за период круглогодичного (365 дней) использования и от 62 % до 69 % для периодического использования (184 дня).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Самокаты Яндекс Go в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. URL: https://go.yandex/ru_ru/lp/rides/scooter/saint-petersburg (дата обращения: 12.11.2022).
- [2] Шеринг самокатов Whoosh [Электронный ресурс]. URL: <https://whoosh-bike.ru/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [3] Шеринг самокатов и велосипедов Urent [Электронный ресурс]. URL: <https://urent.ru/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [4] MOLNIA – шеринг самокатов [Электронный ресурс]. URL: <https://molnia.city/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [5] «Разбросаны, как носки, по всей квартире». Что делать с мешающими проходу самокатами – ФонтанкаРу [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fontanka.ru/2021/05/06/69899018/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [6] Saadullah Khan, Aqueel Ahmad, Furkan Ahmad, Mahdi Shafaati Shemami, Mohammad Saad Alam & Siddiq Khateeb (2018) A Comprehensive Review on Solar Powered Electric Vehicle Charging System, Smart Science, 6:1, 54-79, doi: 10.1080/23080477.2017.1419054.
- [7] Saxena, N., Hussain, I., Singh, B., & Vyas, A. L. (2018). Implementation of a Grid-Integrated PV-Battery System for Residential and Electrical Vehicle Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65(8), 6592–6601. doi:10.1109/tie.2017.2739712.
- [8] Как устроен сервисный центр, где ремонтируют самокаты Urent [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ixbt.com/live/car/pobyval-v-carstve-elektrosamokatov.html> (дата обращения: 12.11.2022).
- [9] Инструкция по эксплуатации Ninebot Kickscooter Max G30P [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fotosklad.ru/upload/iblock/4f4/4f49bf8e60eeb8a773714a2f9b7fb45a.pdf> (дата обращения: 12.11.2022).
- [10] Солнечный модуль HVL-330/HJT [Электронный ресурс]. URL: <https://spb.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/modul-fotoelektricheskii-hvl-330hjt/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [11] Сетевой солнечный инвертор SOFAR 1100TL [Электронный ресурс]. URL: <https://e-solarpower.ru/solar/inverter/on-grid-inv/setevoy-solnechnyy-invertor-sofar-1100tl/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [12] NASA POWER Data Access Viewer [Электронный ресурс]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 12.11.2022).
- [13] Батуев В.И. Динамика характеристик снежного покрова в Санкт-Петербурге и его окрестностях за 60-летний период наблюдений (1950–2011 гг.). Сборник работ по гидрологии ФГБУ Государственного гидрологического института. Санкт-Петербург, 2011. URL: http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/sneg_spb_ggi_batu_ev_2011.pdf (дата обращения: 12.11.2022).
- [14] Тарифы на электроэнергию для малых предприятий и ИП в 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://time2save.ru/tarif-y-na-elektroenergiu-dla-malih-predpriyatiy-i-ip> (дата обращения: 12.11.2022).
- [15] Зеленый тариф в России (2021) [Электронный ресурс]. URL: <https://tokarsenal.ru/zelyonyj-tarif-v-rossi-2021> (дата обращения: 12.11.2022).
- [16] Затраты на ведение бизнеса в Турции. Консалтинг «Евразия» [Электронный ресурс]. URL: <https://consultingtr.com/zatraty-na-vedenie-biznesa-v-turcii/> (дата обращения: 05.03.2023).
- [17] Украина и Турция: «Зеленый» тариф по обе стороны Черного моря – Энергетика Украины [Электронный ресурс]. URL: <https://ukrenergy.dp.ua/2021/07/06/ukraina-i-turcziya-zelenyj-tarif-po-obe-storony-chernogo-morya.html> (дата обращения: 05.03.2023). Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ) цены на электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: https://ru.globalpetrolprices.com/United-Arab-Emirates/electricity_prices/ (дата обращения: 05.03.2023).
- [18] Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ) цены на электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: https://ru.globalpetrolprices.com/United-Arab-Emirates/electricity_prices/ (дата обращения: 05.03.2023).
- [19] Таиланд цены на электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: https://ru.globalpetrolprices.com/Thailand/electricity_prices/ (дата обращения: 05.03.2023).
- [20] Сингапур цены на электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: https://ru.globalpetrolprices.com/Singapore/electricity_prices/ (дата обращения: 05.03.2023).