

# 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.

### A. 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.

### B. 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.

---

Исследование было проведено в рамках проекта № FSEE-2020-0008, который был выполнен в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-01438-22-00.

## II. МЕТОДОЛОГИЯ

### A. 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

### A. 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 НПГ/НПТ в верхней части станции.

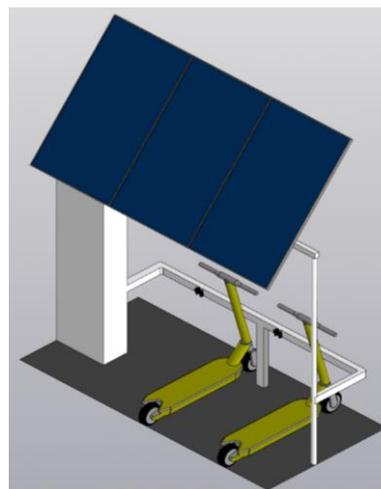


Рис. 1. Модель зарядной станции

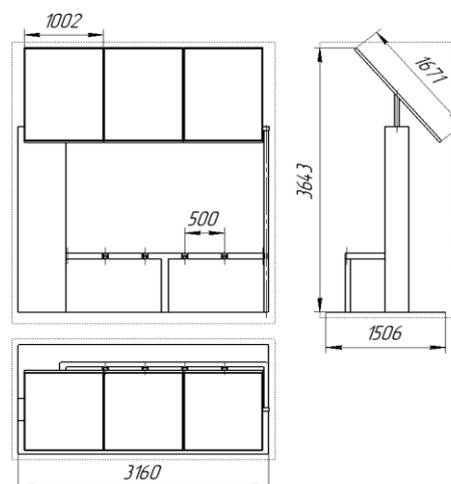


Рис. 2. Чертеж с основными размерами зарядной станции

### B. 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.

### C. 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 Nevelsolar 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 м<sup>2</sup>), 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 октябре-ноябре, а тает в апреле [13]. Так как передвигаться на самокате по снегу небезопасно, кишеринг 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/м<sup>2</sup>],  $s$  – площадь модуля [м<sup>2</sup>],  $\eta_{mod}$  – КПД модуля,  $\eta_{cont}$  – КПД инвертора+контроллера,  $Q$  – количество модулей.

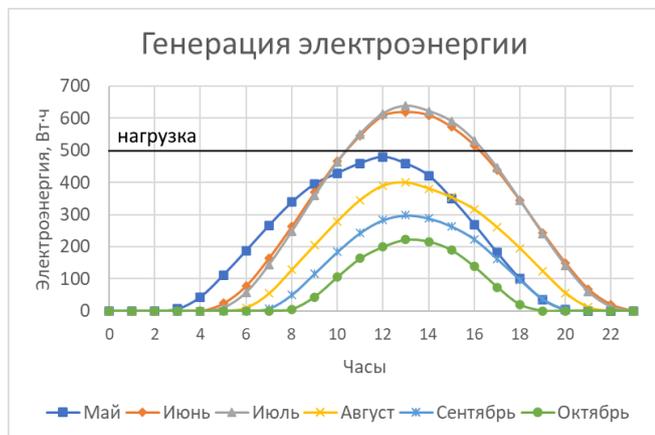


Рис. 3. График почасовой выработки энергии

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:

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

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

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

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/м <sup>2</sup> /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, СРЕДНЕГОДОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТИ В ПИТАНИИ НАГРУЗКИ И ЭКОНОМИЯ СРЕДСТВ НА ЗАРЯДКУ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Город	Ст-ть эн-и, Руб./кВт·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](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/ongrid-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](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/tarifny-na-elektroenergiu-dla-malih-predpriyatij-i-ip> (дата обращения: 12.11.2022).
- [15] Зеленый тариф в России (2021) [Электронный ресурс]. URL: <https://tokarsenal.ru/zelyonyj-tarif-v-rossii-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-turczziya-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/](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/](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/](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/](https://ru.globalpetrolprices.com/Singapore/electricity_prices/) (дата обращения: 05.03.2023).