ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 620.91

DOI: 10.34708/GSTOU.2020.14.20.007

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕТЕВОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

© И. Х. Саламов

ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Одной из актуальных задач в развитии возобновляемой энергетики является активное внедрение экологически чистых энергетических систем в частный сектор. В работе представлены результаты анализа выработки и экономической эффективности солнечной энергетической установки, работающей в частном секторе параллельно с централизованной электросетью. Исследованы методы прогнозирования выработки фотоэлектрических модулей в различных географических и климатических условиях. На основе анализа данных о выработке солнечной энергоустановки проведен сравнительный анализ расчетных и фактических характеристик в реальных эксплуатационных условиях. С использованием данных об уровне солнечной радиации на территории Чеченской Республики, а также данных о тарифах на электроэнергию в регионе, спрогнозирован экономический эффект от использования сетевой солнечной энергоустановки.

Ключевые слова: энергия солнца, возобновляемые источники энергии, альтернативные источники энергии, сетевые солнечные энергоустановки.

Возобновляемая энергетика активно развивается в мире и внедряется в различные сферы, в том числе в частный сектор. Энергия солнца и ветра используется как в промышленности, так и бытовых системах микрогенерации. Наиболее перспективным видом возобновляемой энергии является солнечная энергия. Связано это с тем, что суммарная мощность потока солнечного излучения, поступающая на поверхность Земли, намного выше мощности всех действующих энергоустановок мира [1]. Проблемами солнечной энергетики занимаются многие известные ученые во всем мире. Создаются более эффективные фотоэлектрические модули, повышается их надежность и срок службы.

Для качественного развития возобновляемой энергетики необходимо уделять внимание не только улучшению технических характеристик элементов, используемых в энергосисте-

мах, но и параллельно совершенствовать нормативно-правовую базу введением механизмов стимулирования потребителей. Например, в европейских странах активно внедряются механизмы субсидирования частных домовладений, использующих энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии [2]. Кроме того, во многих странах применяется такой механизм, как «зеленый тариф», позволяющий владельцам энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии не только сократить расходы на электроэнергию, но и зарабатывать на продаже «излишек» электроэнергии в сеть. Механизмы стимулирования производителей и потребителей возобновляемой энергии в последние годы активно внедряются и в России. В 2019 году в первом чтении принят законопроект о развитии микрогенерации, позволяющий частным владельцам энергоустановок на основе возобнов-

ляемых источников энергии мощностью до 15 кВт продавать энергию в сеть. В Государственную Думу внесен законопроект, освобождающий физические лица от НДФЛ от доходов с продажи электроэнергии, произведенной с использованием возобновляемых источников энергии. Эти и другие механизмы поддержки потребителей оказывают позитивное влияние на всю отрасль в целом.

Для оценки экономической эффективности энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии необходимо иметь следующие данные: действующие тарифы на электроэнергию, мощность энергоустановки и объем вырабатываемой электроэнергии, срок службы компонентов системы и конечно же размер капитальных затрат и стоимость обслуживания. Кроме того, необходимо учитывать возможность продажи электроэнергии в сеть и тариф, по которому энергия закупается электросетевой организацией. Стоит иметь в виду, что сетевые солнечные энергоустановки приносят прибыль только при достаточно большой мощности и при условии продажи электроэнергии по «зеленому тарифу» [2]. Технические и нормативно-правовые основы продажи электроэнергии частными владельцами объектов микрогенерации на основе возобновляемых источников энергии в России не в достаточной мере проработаны. В данной работе рассматривается сетевая солнечная энергоустановка, используемая для сокращения расходов на электроэнергию без выдачи энергии в сеть.

Целью данной работы является представление особенностей прогнозирования эффективности сетевой солнечной энергоустановки в условиях Чеченской Республики через ретроспективный анализ данных выработки электростанции в реальных эксплуатационных условиях. Основные методы исследования: статистический анализ данных выработки сетевой солнечной электростанции, мощностью 1,86 кВт, расположенной на территории Чеченской Республики за период с 01 декабря 2019 по 30 апреля 2020 гг., прогнозирование эффективности с использованием данных уровня солнечной радиации с платформы SolarGIS, обработка данных в компьютерных программах MatLab и Excel.

Существует несколько типов солнечных энергетических установок для частных потребителей: автономные, сетевые и гибридные. Автономные системы предназначены для тех объектов, у которых нет доступа к централизованному электроснабжению. Возможны случаи, когда централизованное электроснабжение есть, однако владельцы объекта предпочитают энергетическую независимость. Автономные системы включают в себя фотоэлектрические модули, инверторное оборудование и системы хранения энергии. Для расчета автономных систем существуют различные методики, которые учитывают энергопотребление объекта, пиковую мощность и время необходимой автономной работы энергопотребителей. Гибридные системы используют инверторное оборудование, которое подключается к централизованному электроснабжению. Особенностью таких установок является то, что при наличии достаточной внешней энергии, система переключается на нее. При падении напряжения во внешней сети, при полном отключении или по определенным сценариям происходит переключение на солнечную энергоустановку. Такие системы обеспечивают бесперебойное питание при проблемах с централизованным электроснабжением.

Основным недостатком автономных и гибридных систем является использование накопителей энергии, которые занимают большую часть стоимости в структуре капитальных затрат на энергоустановку. Кроме того, срок службы накопителей ограничен, что влечет за собой дополнительные амортизационные издержки. В большинстве случаев, системы накопления и хранения энергии в автономных солнечных энергоустановках построены на основе свинцово-кислотных аккумуляторов. Обоснованием служит их относительно низкая стоимость. Характеристика аккумуляторов, от которой зависит срок службы, – это число циклов перезаряда. У свинцово-кислотных аккумуляторов оно варьируется в пределах от 1500-2000 циклов [3, 4] при соответствующих условиях эксплуатации с глубиной разряда не более 30%. При более глубоком разряде происходит деградация элементов аккумулятора и существенно сокращается ёмкость.

Рис. 1. Структура сетевой солнечной энергоустановки

Оптимальным решением для сокращения расходов на электроэнергию в частном домовладении является использование сетевой солнечной электростанции. Особенностью сетевых солнечных энергоустановок является непосредственная выдача вырабатываемой электроэнергии в сеть в режиме реального времени. Для этого сетевые солнечные инверторы синхронизируются по фазе с централизованной сетью переменного напряжения [5]. Сетевые солнечные установки не требуют наличия систем хранения энергии. Соответственно, объем капитальных затрат и стоимость обслуживания таких установок существенно ниже, по сравнению с автономными и гибридными системами. Типовая структура сетевой солнечной энергоустановки представлена на рис. 1.

В структуре капитальных затрат на сетевую солнечную энергоустановку значительную часть занимают фотоэлектрические модули и монтажная система. В рассматриваемой

в рамках данной работы сетевой солнечной электростанции стоимость фотоэлектрических модулей составляет около 50% в общей стоимости системы (табл. 1). Стоит отметить, что в данной таблице не приведены логистические и другие сопутствующие затраты. Затраты на монтажные работы обычно составляют около 20% от общей стоимости системы.

Основные характеристики исследуемой сетевой солнечной установки приведены в таблице 2. Общая номинальная мощность фотоэлектрической системы – 1,86 кВт. Необходимо учитывать, что номинальная мощность фотоэлектрических модулей, указываемая производителем в техническом паспорте, – это мощность в стандартных тестовых условиях. Стандартные тестовые условия испытания мощности фотоэлектрического модуля, используемые производителями, – температура 25°C, плотность потока солнечного излучения – 1000 Вт/м². Из этого следует, что мощность в

Таблица 1

Стоимость компонентов сетевой солнечной энергоустановки [12]

	Наименование	Кол-во	Цена	Сумма
1	Фотоэлектрические модули	6	11567	69402
2	Монтажная система	1	11463	11463
3	Инвертор	1	37907	37907
4	Коммутация и устройства защиты	1	5000	5000
5	Затраты на монтажные работы	1	24754	24754
			Итого:	148526

Таблица 2

Основные характеристики исследуемой сетевой солнечной энергоустановки

Характеристика	Значение
Тип фотоэлектрических модулей	Монокристаллический кремний, PERC
КПД фотоэлектрических модулей	21,32%
Температурный коэффициент мощности	– 0.470%
Общая номинальная мощность	1,86 кВт (310 Вт * 6)
Площадь	9,8 м ²
Азимут	173°
Угол наклона	33,4°
Координаты	43.147388, 45.876701

реальных условиях эксплуатации будет существенно отличаться.

Характеристика объекта, на котором установлена сетевая солнечная электростанция, представлена на рисунке 2. Объект представляет собой частный дом энергопотреблением выше среднестатистического. Среднемесячное энергопотребление – около 1,9 МВт. Средняя мощность – 2628,58 Вт. Как видно на рисунке 2, пиковая мощность достигает до 8 кВт. При этом, в случае использования сетевого солнечного инвертора не имеет значения пиковая мощность. Основная характеристика инвертора – это максимально допустимая мощность подключаемых фотоэлектрических модулей. Согласно данным Государственного комитета цен и тарифов Чеченской Республики, тариф для частных потребителей составляет 2,68 руб./кВт [6].

Представленные на рисунке 2 данные получены с помощью монитора энергопотребле-

ния, разработанного самостоятельно. Монитор подключается в точке выхода магистральной линии из счетчика электроэнергии и передает данные на платформу Интернета вещей Thingier.io через сеть Интернет. Используя данный монитор, было проанализировано энергопотребление различных объектов с целью расчета оптимальной энергоустановки на солнечной энергии с учетом пиковой мощности.

Выработка солнечной энергосистемы во многом зависит от территории расположения установки, так как в различных географических точках уровень инсоляции и метеословия существенно различаются [7]. Суммарный поток солнечной радиации, падающий на поверхность Земли, состоит из нескольких компонентов: прямое излучение и рассеянное излучение. Прямое излучение – это количество излучения, получаемое на единицу площади поверхности, расположенной перпендикуляр-

Рис. 2. Энергопотребление объекта из сети в период с 1 по 30 ноября 2020 г.

Рис. 3. Среднечасовой уровень направленной солнечной радиации в Чеченской Республике (Вт/м²) [8]

но лучам, которые идут по прямой линии от текущего положения солнца в небе. Рассеянное излучение – это излучение, которое попадает на поверхность через рассеивание молекулами и частицами в атмосфере.

Среднее значение прямого солнечного излучения на территории Чеченской Республики составляет 3,010 кВт/м² в сутки [8]. Среднее общее излучение – 3,558 кВт/м² в сутки. Рассеянное излучение – 1,722 кВт/м² в сутки. Излучение, падающее на оптимально ориентированную поверхность, – 4,037 кВт/м² в сутки. Оптимальное направление для фотоэлектрических модулей в условиях Чеченской Республики – азимут 180°, оптимальный угол наклона относительно земли – 32° [8]. Для каждой широты есть свой оптимальный угол наклона фотоэлектрических модулей. В различных источниках приводятся разные данные. Например, на платформе SolarGIS для Чеченской Республики приводится угол именно 32°, но в некоторых источниках приводится также угол 43°. Этот вопрос необходимо дополнительно исследовать для точного определения оптимального угла на данной территории. На рисунке 3 представлены среднечасовые значения направленного солнечного излучения на территории Чеченской Республики. Как мы видим, наибольшее значение уровня инсоляции наблюдается в летнее время в середине июля и достигает 510 Вт/м². Данные, представленные на рисунке 3, получены в соответствии с

географическими координатами размещения энергоустановки.

Для прогноза выработки фотоэлектрических модулей необходимо учитывать различные факторы, такие как деградация модулей, плотность потока солнечной энергии в данной местности, температуру и т. д. Мощность одного фотоэлектрического модуля [Вт] рассчитывается по следующей формуле [9, 10, 13]:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}} \right) \left[1 + \alpha_p (\overline{T}_c - T_{c,STC}) \right], \quad (1)$$

где Y_{PV} – номинальная мощность фотоэлектрического модуля в стандартных тестовых условиях (STC – Standard Test Conditions – стандартные тестовые условия) [Вт]; f_{PV} – коэффициент снижения общей эффективности в результате деградации фотоэлектрических ячеек; $\overline{G}_T$ – совокупная плотность потока энергии солнечного излучения у поверхности Земли, падающего на наклонную поверхность [Вт/м²]; $\overline{G}_{T,STC}$ – плотность потока энергии солнечного излучения при стандартных тестовых условиях [1000 Вт/м²]; α_p – температурный коэффициент мощности фотоэлектрического модуля [%]; $\overline{T}_c$ – температура фотоэлектрического модуля [°C]; $T_{c,STC}$ – температура фотоэлектрического модуля при стандартных тестовых условиях (25°C).

Совокупная плотность потока энергии солнечного излучения у поверхности Земли, падающая на наклонную поверхность, рассчитывается по следующей формуле [10, 11]:

$$\bar{G}_T = \bar{G}_b \cdot \bar{R}_b + \bar{G} \cdot r_g \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} + \bar{G}_d \cdot A_i \cdot \bar{R}_b \cdot (1 - A_i) \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \cdot \left[1 + \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right], \quad (2)$$

где $\bar{G}_b$ – прямое солнечное излучение на поверхности Земли, состоящее из разности между суммарным и рассеянным излучением [кВт/м²]; $\bar{R}_b$ – среднее соотношение потока, падающего на горизонтальную и наклонную поверхности; r_g – альбедо земной поверхности; β – угол наклона фотоэлектрического модуля [град]; A_i – коэффициент анизотропии атмосферы.

Приведенные выше формулы (1) (2) позволяют спрогнозировать выработку одного фотоэлектрического модуля. Однако в солнечных энергетических системах часто используется большое количество модулей, соединенных различными способами. В исследуемой в рамках данной работы сетевой солнечной электростанции используются 6 фотоэлектрических модулей, соединенных последовательно. Общая мощность фотоэлектрической системы рассчитывается по следующей формуле [10,11]:

$$P_a = P_{PV} \cdot n_p \cdot n_s, \quad (3)$$

где P_a – мощность фотоэлектрической системы [Вт]; n_p – количество параллельно соединенных фотоэлектрических модулей в системе; n_s – количество последовательно соединенных фотоэлектрических модулей в системе.

При прогнозировании выработки необходимо также учитывать эффективность инвертора и потери при преобразовании энергии [14]. Результаты прогноза выработки фотоэлектрических модулей номинальной мощностью 1,86 кВт в условиях Чеченской Республики с использованием платформы SolarGIS, а также фактическая выработка электростанции представлены на рисунке 4. Максимальное значение энергии, как и предполагалось, приходится на июль – 256,3 кВт*ч. Минимальное значение в декабре – 85,3 кВт*ч. Фактическая пиковая мощность – 1,96 кВт.

Прогнозируемые и фактические значения выработки в начале года существенно отличаются, однако в апреле фактическая выработка составила 208,1 кВт*ч при прогнозируемом значении – 208,7 кВт*ч. Отклонение от прогноза – около 0,3%. Однако в январе отклонение составило 57,8%. Связано это с тем, что на выработку влияют метеословия. Для более точного прогнозирования необходимо учитывать данные с метеостанций, расположенных в непосредственной близости с установкой. На рисунке 5 (а) представлен график недельной выработки. Как мы видим, в начале недели уровень выработки существенно ниже из-за метеословий, но в конце недели, 8 апреля

Рис. 4. Расчетные и фактические значения выработки фотоэлектрических модулей

Рис. 5. Недельная и дневная выработка системы: а – выработка за период со 2 по 8 апреля 2020 г.; б – суточная выработка за 8 апреля 2020 г.

(рис. 5 (б)) мы видим идеально гладкий график выработки, что говорит о том, что в этот день погода была благоприятная.

Экономический эффект от сетевой солнечной электростанции рассчитывается на основе значений выработки системы и тарифов на электроэнергию. Как было сказано в начале, тариф на электроэнергию в Чеченской Республике для частных потребителей – 2,68 руб./кВт [6]. Фактическая выработка системы за 5 месяцев (декабрь 2019 – апрель 2020) составляет 525,86 кВт*ч. С учетом тарифа, стоимость фактически выработанной

электроэнергии составляет 1409,3 руб. При этом прогнозируемая стоимость за тот же период составляет 1822,6 руб. Таким образом, прогнозируемая годовая выработка системы составляет 2150,3 кВт*ч, или 5762,8 руб. С учетом стоимости системы, представленной в таблице 1, срок окупаемости данной сетевой солнечной системы составляет более 25 лет. Однако стоит учитывать, что тарифы на электроэнергию растут примерно на 3-4% в год. При этом срок службы используемых фотоэлектрических модулей составляет 30 лет [деградация не ниже 80%].

На основе проведенного анализа установлено, что наиболее доступными среди основных типов солнечных энергетических систем для частного сектора являются сетевые установки. Связано это с тем, что в таких установках нет необходимости использования систем накопления энергии. Однако важное условие экономической эффективности таких установок – тариф на электроэнергию не менее 5,8 руб./кВт. С учетом тарифа для частных потребителей электроэнергии, срок окупаемости исследуемой сетевой солнечной энергоустановки составил более 25 лет. При потреблении электроэнергии из сети по коммерческому тарифу, который составляет в Чеченской Республике 5,8 руб./кВт, срок окупаемости системы составил бы уже не 25, а 12 лет, что уже более приемлемо для конечного потребителя. Исходя из этого, можно сделать вывод, что использование сетевых солнечных энергоустановок экономически целесообразно в предприятиях Чеченской Республики, которые платят за электроэнер-

гию по коммерческому тарифу. Для частного сектора необходимо внедрение механизмов государственной поддержки на приобретение энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии. А также необходимо детально проработать нормативно-правовое регулирование по части микрогенерации и «зеленого тарифа» для стимулирования частных домовладельцев.

Исследование показало, что некоторые исходные данные требуют дополнительной проработки. Например, оптимальный угол наклона фотоэлектрических модулей для Чеченской Республики в различных источниках указан разный – от 31° до 43°. Алгоритмы прогнозирования на основе данных об уровне инсоляции с платформы SolarGIS показали хорошие результаты с допустимым отклонением. Однако для более точного прогнозирования необходимо провести измерение уровня инсоляции на территории, а также использовать данные с метеостанций, расположенных в непосредственной близости с солнечной энергоустановкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попель О. С., Фрид С. Е., Коломиец Ю. Г., Киселева С. В. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. ОИВТ РАН, 2010.
2. Klyon A., Efremenko V. Economic efficiency of network-based solar power stations employment in private housing estates // ТАПИ. 2015. № 1 (23).
3. Лакутин Б. В., Муравлев И. О. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. Томск: Томский политехнический университет, 2015. 112 с.
4. Исмаилов Ф. Р., Шарифов Б. Н., Гайсин Б. М., Терезулов Т. Р., Бабкина Н. Л. Исследование параллельной работы солнечной электростанции с сетью // Вестник УГАТУ. 2016. № 4 (74).
5. Grid-tie инвертор [Электронный ресурс] // Википедия. [2019]. Дата обновления: 14.07.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=101021763> (дата обращения: 14.07.2019).
6. Решение Правления «Об установлении тарифов на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категориям потребителей по Чеченской Республике на 2020 год» // Государственный комитет цен и тарифов Чеченской Республики URL: http://tarif95.ru/sites/default/files/documents/gp/2019/gp_118_19.12.2019.pdf (дата обращения: 26.05.2020).
7. Юмаев Н. Р., Юсуфбеков Н. Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации // Молодой ученый. Технические науки: традиции и инновации: материалы III Междуна. науч. конф. (г. Самара, март 2018 г.). Казань: Молодой ученый, 2018. 128 с.
8. Global Solar Atlas v2.2 [Электронный ресурс] // Global Solar Atlas URL: <https://globalsolaratlas.info/map?c=43.316436,45.699863,11&s=43.316436,45.699863&m=site&pv=small,173,33,1.86> (дата обращения: 26.05.2020).
9. Chiou-Jye Huang, Mao-Ting Huang, and Chung-Cheng Chen. A Novel Power Output Model for Photovoltaic Systems // International Journal of Smart Grid and Clean Energy. 2013. № 2. С. 139-147.

10. Снегирев Д. А., Валиев Р. Т., Ерошенко С. А., Хальясмаа А. И. Особенности прогнозирования выработки электроэнергии солнечными электростанциями // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017.
11. John A. Duffie, William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. University of Wisconsin-Madison, 2013. 928 с.
12. Солнечная батарея SilaSolar 310Вт PERC (5BB) [Электронный ресурс] // Технолайн URL: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-310vt-perc-5bb/> (дата обращения: 26.05.2020).
13. Дмитриенко В. Н., Лукутин Б. В. Методика оценки энергии солнечного излучения для фотоэлектростанции // Известия ТПУ. 2017. № 5.
14. Ерошенко С. А., Кочнева Е. С., Крючков П. А., Хальясмаа А. И. Опыт внедрения моделей краткосрочного прогнозирования выработки солнечных электростанций // ЭНЕРГОЭКСПЕРТ. 2018. № 2 (66).

EFFICIENCY ANALYSIS OF THE ON-GRID SOLAR POWER PLANT IN THE CHECHEN REPUBLIC

© I. H. Salamov

GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

One of the urgent tasks in the development of renewable energy is the active introduction of environmentally friendly energy systems in the private sector. The article presents the results of an analysis of the generation and economic efficiency of a solar power plant operating in the private sector in parallel with a centralized electric grid. Studied methods of predicting the efficiency of photovoltaic modules in different geographical and climatic conditions. Based on the analysis of data on the generation of solar power plants, a comparative analysis of the calculated and actual characteristics in real operating conditions is carried out. Using data on the level of solar radiation in the Chechen Republic, as well as data on electricity tariffs in the region, the economic effect of the use of a grid solar power plant is predicted.

Keywords: solar energy, renewable energy, alternative energy, on-grid solar systems

REFERENCES

1. Popel, O. S., Frid, S. E., Kolomiets, Yu. G. and Kiseleva, S. V. (2010) Atlas resursov solnechnoi energii na territorii Rossii, OIVT RAN. [Atlas of solar energy resources in Russia, IIHT].
2. Klyon, A. and Efremenko, V. (2015) 'Economic efficiency of network-based solar power stations employment in private housing estates' *TARP*. № 1 (23).
3. Lakutin, B. V. and Muravlev, I. O. (2015) Sistemy elektrosnabzheniya s vetrovymi i solnechnymi elektrostantsiyami. Tomskii politekhnicheskii universitet. [Power supply systems with wind and solar power plants. Tomsk Polytechnic University]. Tomsk. 112 p.
4. Ismagilov, F. R., Sharifov, B. N., Gaisin, B. M., Teregulov, T. R. and Babkina, N. L. (2016) 'Issledovanie parallel'noi raboty solnechnoi elektrostantsii s set'yu'. [A study of the parallel operation of a solar power station with a network. Bulletin of USATU] *Vestnik UGATU*. № 4 (74).

5. Grid-tie inverter. Wikipedia. [2019]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=101021763> (accessed: 14.07.2019).
6. Reshenie Pravleniya «Ob ustanovlenii tarifov na elektricheskuyu energiyu dlya naseleniya i priravnennykh k nemu kategoriya potrebiteli po Chechenskoi Respublike na 2020 god». Gosudarstvennyi komitet tsen i tarifov Chechenskoi Respubliki, available at: http://tarif95.ru/sites/default/files/documents/rp/2019/rp_118_19.12.2019.pdf (accessed: 26.05.2020).
7. Yumaev, N. R. and Yusufbekov, N. Sh. (2018) 'Issledovanie vliyaniya pogodnykh uslovii na parametry raboty solnechnykh batarei v estestvennykh usloviyakh ekspluatatsii'. *Molodoi uchenyi. Tekhnicheskie nauki: traditsii i innovatsii: materialy III Mezhdunar. nauch. konf.* [Study of the influence of weather conditions on the parameters of the solar panels in natural conditions of operation. Young scientist. Technical sciences: traditions and innovations: Technical sciences: traditions and innovations: materials III International. scientific conf]. (Samara, March 2018). Young Scientist, Kazan. 128 p.
8. Global Solar Atlas v^{2.2}. Global Solar Atlas. Available at: <https://globalsolaratlas.info/map?c=43.316436,45.699863,11&s=43.316436,45.699863&m=site&pv=small,173,33,1.86> (accessed: 26.05.2020).
9. Chiou-Jye, Huang, Mao-Ting, Huang and Chung-Cheng, Chen (2013) 'A Novel Power Output Model for Photovoltaic Systems'. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. №2. Pp. 139-147.
10. Snegirev, D. A., Valiev, R. T., Eroshenko, S. A. and Khal'yasmaa, A. I. (2017) 'Osobennosti prognozirovaniya vyrabotki elektroenergii solnechnymi elektrostantsiyami'. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: Samarskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet* [Features of forecasting the generation of electricity by solar power plants. Materials of the VIII International scientific and technical conference. Samara State Technical University]. Samara.
11. John A. Duffie, William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. University of Wisconsin-Madison, 928 p.
12. Solnechnaya batareya SilaSolar 310Vt PERC (5BB) (2013) [Elektronnyi resurs] [The solar battery] Technoline URL: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-310vt-perc-5bb/> (accessed: 26.05.2020).
13. Dmitrienko, V. N. and Lukutin, B. V. (2017) 'Metodika otsenki energii solnechnogo izlucheniya dlya fotoelektrostantsii' *Izvestiya TPU*. [Methodology for assessing the energy of solar radiation for a photovoltaic plant. News of TPU]. №5.
14. Eroshenko, S. A., Kochneva, E. S., Kryuchkov, P. A. and Khal'yasmaa, A. I. (2018) 'Opyt vnedreniya modelei kratkosrochnogo prognozirovaniya vyrabotki solnechnykh elektrostantsii'. *ENERGOEKSPERT*. [The experience of introducing models for short-term forecasting of the production of solar power plants. ENERGOEXPERT]. №2 (66).