



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SOLAR ENERGY

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

SOLAR POWER PLANTS

Статья поступила в редакцию 12.07.18. Ред. рег. № 2680

The article has entered in publishing office 12.07.18. Ed. reg. No. 2680

УДК 621.31

**ОЦЕНКА ПРИХОДА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА
СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИРИИ******А. Рамадан, В.В. Елистратов***Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
д. 29, ул. Политехническая, Санкт-Петербург, 195251, Россия
тел.: +7(912)411-99-51; e-mail: eng_amer@live.com

doi: 10.15518/isjaee.2018.22-24.012-027

Заключение совета рецензентов: 16.07.18 Заключение совета экспертов: 25.07.18 Принято к публикации: 31.07.18

Разработана методика определения прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность на территории Сирии с использованием базы метеоданных NASA и программы ArcGIS для создания карт и атласов. Для расчетов прихода солнечной энергии на наклонную площадку применялась, как наиболее достоверная для Сирии, методика, предложенная Лю и Джорданом (1962 г.), развитая Кляйном (1977 г.) и дополненная авторами данной статьи алгоритмом аппроксимации. Для адаптации методики был выполнен расчет значений для среднемесячной и среднегодовой суточной солнечной радиации на наклонную площадку и ее составляющих (прямой, диффузной и отраженной) в точке с широтой 33° и долготой 36° на территории Сирии и определены годовой и месячные значения оптимального угла наклона солнечной батареи. Предложенная методика была применена для 63 точек, покрывающих территорию Сирии. Проведено разделение территории Сирии на зоны, характеризующиеся оптимальным углом наклона солнечной батареи и максимальным годовым приходом солнечной энергии на наклонную площадку при данных углах наклона солнечной батареи с помощью метода интерполяции обратно взвешенных расстояний в программе ArcGIS. Разработан атлас прихода солнечной радиации на территорию Сирии для рассчитанных оптимальных углов наклона. Показано, что годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи для территории Сирии изменяется в диапазоне от 23° до 28°, при этом среднегодовой приход солнечной энергии на наклонную площадку изменяется в диапазоне от 1 859 кВт·ч/м²·г. до 2 069 кВт·ч/м²·г. Кроме того, на основе базы метеоданных NASA был определен общий природный потенциал солнечной энергии на территории Сирии на оптимальные наклонные площадки, который составляет 362,1·10³ ТВт·ч/год.

Ключевые слова: методика; солнечная радиация; горизонтальная и наклонная поверхности; Сирия; NASA; ArcGIS; атлас; Лю и Джордан; оптимальный угол наклона солнечной батареи; интерполяция; потенциал; точка.

*Рамадан А., Елистратов В.В. Оценка прихода солнечной энергии и выбор оптимального угла наклона солнечной батареи для условий Сирии // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018;22-24:12-27.

EVALUATION OF SOLAR ENERGY AND SELECTION OF OPTIMAL TILT ANGLE OF SOLAR PANELS FOR CONDITIONS IN SYRIA

A. Ramadan, V.V. Elistratov

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University
29 Politehnicheskaya Str., Saint Petersburg, 195251, Russia
tel.: +7(912)411-99-51, e-mail: eng_amer@live.com

doi: 10.15518/isj.2018.22-24.012-027

Referred 16 July 2018 Received in revised form 25 July 2018 Accepted 31 July 2018

The article suggests the method for calculating the solar radiation on a horizontal surface of the territory of Syria which has been developed using the weather database of NASA and ArcGIS software to create the atlases of Syria. In order to compute the solar radiation on an inclined surface for Syria, the following steps were taken. Firstly, the method proposed by Liu and Jordan (1962) and developed by Klein (1977) was used and applied at a point with a latitude of 33° and a longitude of 36° in Syria to calculate the total average daily monthly and yearly solar radiation on an inclined surface and its components (direct, diffuse and ground reflected). Secondly, the annual and monthly values of the optimal tilt angle of the solar panels were determined. Thirdly, verification of reliability and accuracy of calculations was carried out. Finally, using the interpolation method (inverse distance weighted IDW) in ArcGIS, the method proposed was applied to 63 points that covered the territory of Syria. Thus, we developed an Atlas of Syria of solar radiation on an inclined surface which characterized by the optimal tilt angles of solar panels and the maximum annual solar radiation on an inclined surface under these angles. Solar Radiation Atlas of Syria shows that the annual optimal tilt angle of the solar panels varies in the range from 23° to 28° and the maximum average annual solar radiation on an inclined surface under these angles varies in the range from 1859 to 2069 kWh/m²·year. In addition, on the basis of the NASA meteorological database, we determined the average total gross (natural) potential of solar energy on optimal inclined surfaces in Syria which is 362.1·10³ TWh per year.

Keywords: method; solar radiation; horizontal and inclined surface; Syria; NASA; ArcGIS; Atlas; Liu and Jordan; optimal tilt angle of the solar panel; interpolation; potential; point.



Виктор Васильевич
Елистратов
Viktor Elistratov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор кафедры «Водохозяйственное и гидротехническое строительство» СПбПУ, директор научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» (НОЦ «ВИЭ»).

Награды: заслуженный энергетик РФ; медаль «300-летие Санкт-Петербурга» и ряд отраслевых наград.

Образование: Ленинградский политехнический институт, ЛПИ им. М.И. Калинина (1977 г.).

Область научных исследований: разработка теоретических и технологических основ преобразования, комплексного использования и аккумулирования возобновляемой энергии со случайно детерминированным характером образования (солнечной, ветровой и гидравлической) при создании энергетических объектов на основе ВИЭ для сетевой и распределённой генерации.

Публикации: более 150, в том числе 8 монографий, 7 авторских свидетельств и патентов РФ, более 20 учебников и учебных пособий.

Researcher ID: C-3627-2016

ORCID: 0000-0001-7051-6027

Scopus: 57189578726

Publons: publons.com/a/1610480

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor at the Water Resources and Hydrotechnical Engineering department of St. Petersburg State Polytechnic University, the Director of Scientific Center “Renewable Energy Sources”.

Awards: Honoured Power Engineering Specialist of the Russian Federation; the medal of “300 years of St. Petersburg” and other industry awards.

Education: St. Petersburg State Polytechnic University, 1977.

Research interests: development of theoretical and technological basic foundations of conversion, complex use and accumulation of renewable energy (solar, wind and hydro energy) while provision of energy units with RES for network and decentralized system.

Publications: more than 150, including 8 monographs, 7 certificates and patents, more than 20 textbooks and tutorials.





Амер Рамадан
Amer Ramadan

Сведения об авторе: аспирант кафедры теоретической электротехники и электромеханики, Институт энергетики и транспортных систем Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Образование: бакалавриат электромеханического факультета Университета Дамаска (2009 г.); магистратура на кафедре водохозяйственного и гидротехнического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (2016 г.).

Область научных исследований: электротехника; солнечная и ветровая энергия; электрические станции и сети; моделирование режимов работы электротехнических систем и возобновляемые виды энергии и установки на их основе.

Публикации: 10.

Publons: <https://publons.com/a/1609242>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2239-447X>

Researcher ID: U-1795-2018

Scopus Author ID: 57203214224

Information about the author: Ph.D. Student at the Department of Theoretical Electrical and Mechanical Engineering, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University.

Education: a bachelor's degree, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering of Damascus University, 2009; a master's degree at the Department of Water Resources and Hydrotechnical Engineering, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, 2016.

Research interests: electrical engineering; solar and wind energy; power stations and networks; modeling operational modes of electrical systems and renewable energy and installations based on them.

Publications: 10.

1. Введение

В последние 15–20 лет развитие возобновляемой энергетики является весьма оптимистичным с постоянным увеличением установленной мощности и доли в энергетическом балансе. Общемировая выработка электроэнергии за период 1973–2017 гг. выросла с 6 131 ТВт·ч до 25 570 ТВт·ч [1]. В 2017 г. доля энергии, произведенной из возобновляемых источников энергии, составила 6 392 ТВт·ч, или 25 % (в том числе 16 % – доля гидроэнергетики) [2]. В 2017 г. установленная мощность возобновляемых источников энергии (суммарная, включая гидроэнергию) достигла более 2 179 ГВт, включая солнечную энергетику 360 ГВт [3]. Наиболее перспективными видами возобновляемых источников энергии считаются солнце и ветер. Солнечная энергия широко используется во всем мире как для производства электроэнергии, так и для отопления, а также опреснения воды.

Солнечная энергия преобразуется в электроэнергию двумя основными способами: прямым фотоэлектрическим преобразованием и термодинамическим преобразованием с концентрацией солнечной энергии и последующим паросиловым циклом. Фотоэлектрический способ генерации электрической мощности в настоящее время является наиболее конкурентоспособным. Так, производство солнечной фотоэлектрической энергии в 2017 г. составило 416 ТВт·ч [4].

В развивающихся странах, таких как Сирия, интерес к солнечной энергии растет, особенно применительно к производству электроэнергии и водоснабжению различных областей. Сирия, как и другие страны Ближнего Востока и средиземноморского побережья, обладает значительными ресурсами солнечной энергии [5]. Средний приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность в Сирии составляет около 5 кВт·ч /м² в день, или 1 800 кВт·ч /м² в год. Средняя величина суточного лучистого потока колеблется от 4,4 кВт·ч /м² в день в горных районах на западе до 5,2 кВт·ч /м² в день в пустынных районах Бадии. Число часов солнечного сияния варьируется от 2 820 ч до 3 270 ч [6].

Электрическая энергия, вырабатываемая фотоэлектрической системой, прямо пропорциональна солнечной радиации (СР). Для правильной оценки прихода СР необходим прогноз метеорологических данных (излучение и температура) для мест, где предполагается установить фотоэлектрические системы. Для того чтобы осуществить проектирование фотоэлектрических систем необходимо, во-первых, иметь максимально точную информацию о солнечных ресурсах в месте установки. На сегодняшний день существуют базы данных, где можно найти информацию о солнечной радиации, но только для горизонтальных поверхностей. Однако фотоэлектрические системы, как правило, размещаются не горизонтально, а в положении наклона для большего произ-



водства энергии. Таким образом, данные о приходе солнечной радиации на горизонтальную поверхность приходится пересчитывать для наклонных плоскостей, что требует достаточно сложных математических расчётов [7, 8].

В задачи настоящего исследования входили: разработка методики для определения прихода солнечной энергии на горизонтальную и наклонную поверхность для различных временных промежутков (дневного, месячного, среднегодового); создание атласов среднегодового прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность и оптимальные наклонные площадки для территории Сирии с помо-

щью математических моделей прихода солнечной радиации, базы метеоданных NASA и программы создания карт и атласов ArcGIS.

Кроме того, предложенная методика дополняет известные модели Лю и Джордана алгоритмом аппроксимации значений приходов СР в узловых точках на тяготеющую к этому узлу территорию с помощью метода ОБР для создания атласов значений удельных приходов солнечной энергии на горизонтальную поверхность и на наклонную поверхность (с выбором оптимального угла наклона солнечных батарей) для рассматриваемой территории. Предложенная методика подойдёт для любой территории или страны.

Список обозначений	
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
α_c	Угол высоты солнца, град.
β	Угол наклона солнечной батареи, град.
γ	Угол азимута поверхности солнечной батареи, град.
γ_c	Азимут солнца, град.
δ	Склонение солнца, град.
$\overline{\delta H}$	Погрешность прихода солнечной энергии, %
ϕ	Широта места, град
θ	Угол падения солнечных лучей, град.
θ_z	Зенитный угол солнца, град.
ρ	Альбедо
ω_c	Угол часового солнца, град.
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
G	Солнечная постоянная, Вт/м ²
H	Приход солнечной энергии
\overline{H}	Среднемесячный суточный приход солнечной энергии, кВт·ч/м ² ·сут.
\overline{K}	Коэффициент облачности атмосферы
\overline{N}	Отношение среднемесячных суточных приходов суммарной СР на наклонную и горизонтальные поверхности
n	Номер расчетного дня года
R^2	Коэффициент корреляции
\overline{R}	Отношение среднемесячных суточных приходов прямой СР на наклонную и горизонтальную поверхность
Δt	Длительность месяца (количество суток в месяце), сут.
<i>Индексы нижние</i>	
атм	За пределами земной атмосферы
г	Горизонтальная поверхность
год	Среднегодовой
гор	Горизонт
д.	Диффузная часть излучения
диск	Вблизи солнечного диска
з	Зенит
изо	Изотропная
мес.	Среднемесячный
н	Наклонная поверхность
п	Прямая часть излучения
опт	Оптимальный
отр	Отражённая часть излучения
с	Солнце
<i>Аббревиатуры</i>	
ОБР	Обратно взвешенные расстояния
СР	Солнечная радиация



2. Теоретический анализ

Суммарное излучение, падающее на наклонную поверхность, состоит из трех компонентов: прямое, диффузное и наземное отраженное излучение. Прямое излучение на наклонной поверхности может быть вычислено за счёт геометрических соотношений между горизонтальной и наклонной поверхностями. Отраженное излучение можно оценить с достаточной точностью с помощью изотропной модели и относительно простого алгоритма. Диффузное излучение не имеет определенного или единственного угла падения на горизонтальную поверхность, поэтому в большинстве моделей диффузное излучение на наклонной поверхности рассчитывают с учётом измерений на горизонтальной поверхности. Эти модели можно классифицировать как изотропную и анизотропную [8].

Изотропные модели предполагают, что интенсивность диффузного излучения неба равномерна от всех точек купола неба. Анизотропные модели предполагают, что небо состоит из трех составляющих с различной интенсивностью диффузного излучения [9]: анизотропная часть – область вблизи солнечного диска $H_{н.д.диск}$ и область у горизонта $H_{н.д.гор}$; изотропная часть $H_{н.д.изо}$ – остальная часть неба. Изотропные модели оценивают только изотропное диффузное излучение $H_{н.д.изо}$, а анизотропные – позволяют суммировать изотропную часть $H_{н.д.изо}$ либо только с диффузной частью вблизи солнечного диска $H_{н.д.диск}$, либо с диффузной частью вблизи солнечного диска $H_{н.д.диск}$ и диффузной частью яркости у горизонта $H_{н.д.гор}$. Классификация моделей солнечной радиации по способу обработки частей диффузионной составляющей солнечного излучения ($H_{н.д.изо}$, $H_{н.д.диск}$, $H_{н.д.гор}$) у ряда авторов представлена в табл. 1.

Таблица 1
Классификация моделей солнечной радиации по частям диффузного излучения
Table 1
Classification of solar radiation models by parts of diffuse radiation

Изотропные модели неба	Анизотропные модели неба	
$H_{н.д.изо}$	$H_{н.д.изо} + H_{н.д.диск}$	$H_{н.д.изо} + H_{н.д.диск} + H_{н.д.гор}$
Hottel – Woertz (1942 г.)		
Liu – Jordan (1962 г.)	→Bugler (1977 г.)	
		→Temps – Coulson (1977 г.)
		→Klucher (1979 г.)
	→Hay-Davies (1980 г.)	
	→Ma – Iqbal (1983 г.)	
	→Skartveit-Olseth (1986 г.)	
		→Perez et al. (1990 г.)
		→Reindl et al. (1990 г.)
	→Muneer (2004 г.)	
Orgill – Hollands (1977 г.)		
Erbs et al. (1982 г.)		
Koronakis (1986 г.)		
Badescu (2002 г.)		
	Willmot (1982 г.)	
	Gueymard (1987 г.)	

В скобках рядом с каждой моделью указан год ее разработки.

Стрелки в двух столбцах, относящихся к анизотропным моделям, показывают, что почти все эти модели получены из изотропной модели Liu – Jordan. Исключением являются анизотропные солнечные модели Willmot и Gueymard.

Следует отметить, что модель Лю и Джордана широко применяется в инженерных оценках прихода солнечной энергии в конкретной точке, так как эта модель даёт достаточно хороший результат и учитывает только наклон исследуемой поверхности без учета азимутальных и зенитных углов [10].

3. Экспериментальная часть и результаты исследования

3.1. Методика определения среднегодового прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность для территории Сирии

Сирия расположена между 32° и 38° северной широты и 35° и 43° восточной долготы. Для определения прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность на территории Сирии выделены точки пересечения долготы и широты (63 точки) (рис. 1) и использована база метеоданных NASA за 22 года [11]. В этих точках определены среднемесячные суточные



приходы солнечной энергии \bar{H}_g . С учетом длительности каждого месяца Δt рассчитан среднемесячный и среднегодовой приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность $\bar{H}_{г.мес}$, $\bar{H}_{г.год}$.

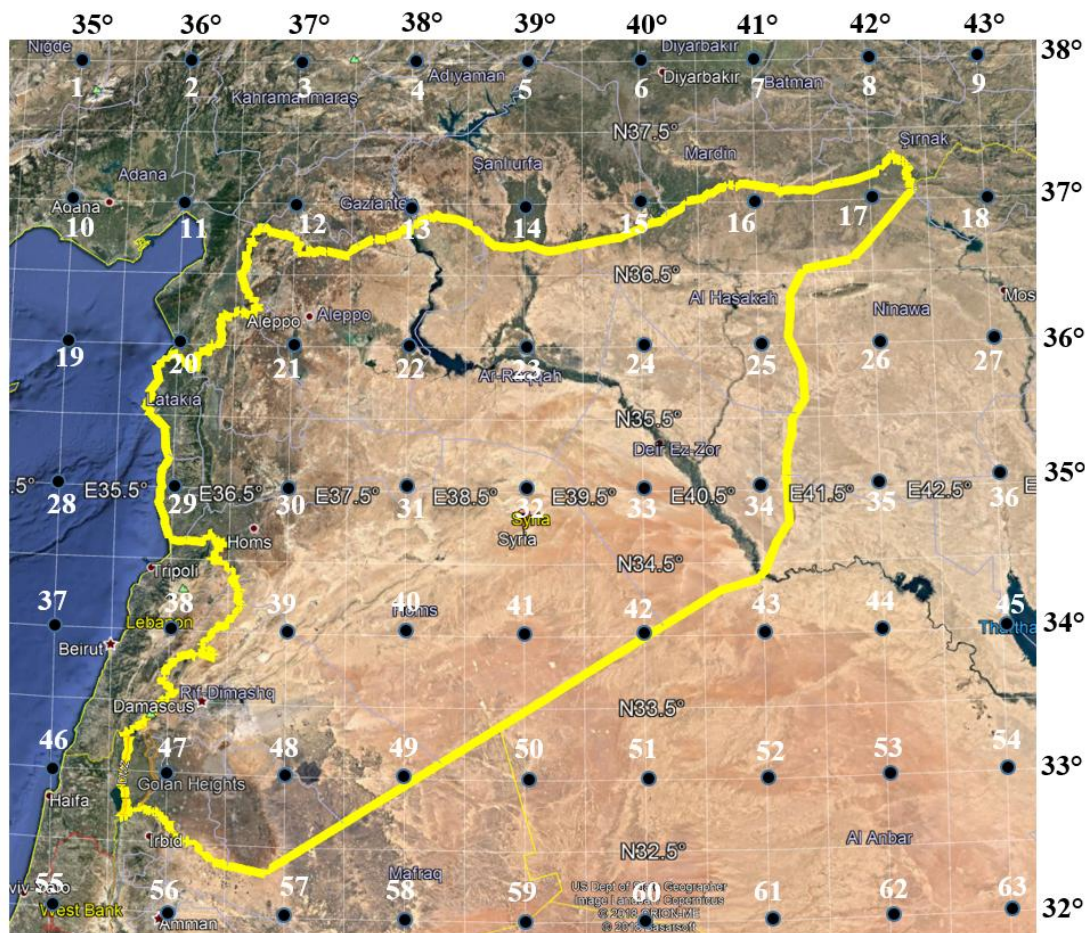


Рис. 1 – Точки пересечения долготы и широты на территории Сирии
 Fig. 1 – Intersection points of longitude and latitude on the territory of Syria

В табл. 2 показан пример расчета прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность в точке № 47 (33° с.ш. и 36° в.д) для каждого месяца года и среднегодовое значение.

Пример расчета прихода СР на горизонтальную поверхность в точке № 47

Таблица 2

Table 2

Calculation example of solar radiation on a horizontal surface at the point no. 47

Месяц	\bar{H}_g , кВт·ч/м ² ·сут из базы данных NASA	Δt , сутки	$\bar{H}_{г.мес} = \bar{H}_g \Delta t$, кВт·ч/м ² ·мес	$\bar{H}_{г.год} = \sum \bar{H}_{г.мес}$, кВт·ч/м ² ·год
Январь	2,58	31	79,98	1 857
Февраль	3,29	28	92,12	
Март	4,49	31	139,19	
Апрель	5,8	30	174	
Май	7,09	31	219,79	
Июнь	7,91	30	237,3	
Июль	7,74	31	239,94	
Август	6,94	31	215,14	
Сентябрь	5,71	30	171,3	
Октябрь	4,12	31	127,72	
Ноябрь	2,94	30	88,2	
Декабрь	2,34	31	72,54	
год	5,08	—	—	

После определения среднегодового прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность $\bar{H}_{г.год}$ для всех расчетных точек (см. рис. 1), была проведена интерполяция значений $\bar{H}_{г.год}$ для территории Сирии с помощью программы ArcGIS и метода обратно взвешенных расстояний (ОВР), позволяющего оценивать значения в узлах посредством осреднения значений точек данных рядом с каждым узлом – чем ближе располагается точка к узлу, тем больше влияние, или вес, она имеет в процессе осреднения [12]. В результате было произведено зонирование территории и выделено четыре зоны, характеризующиеся соответствующим среднегодовым приходом солнечной энергии на горизонтальную поверхность, а также рассчитана площадь каждой зоны (рис. 2).

На рис. 2 показано, что среднегодовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность всей территории Сирии изменяется в диапазоне от 1 726 кВт·ч/м²·г до 1 936 кВт·ч/м²·г. При этом юго-восточная часть Сирии имеет самые высокие значения прихода СР на горизонтальную поверхность.

На рис. 2 показано, что среднегодовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность всей территории Сирии изменяется в диапазоне от 1 726 кВт·ч/м²·г до 1 936 кВт·ч/м²·г. При этом юго-восточная часть Сирии имеет самые высокие значения прихода СР на горизонтальную поверхность.

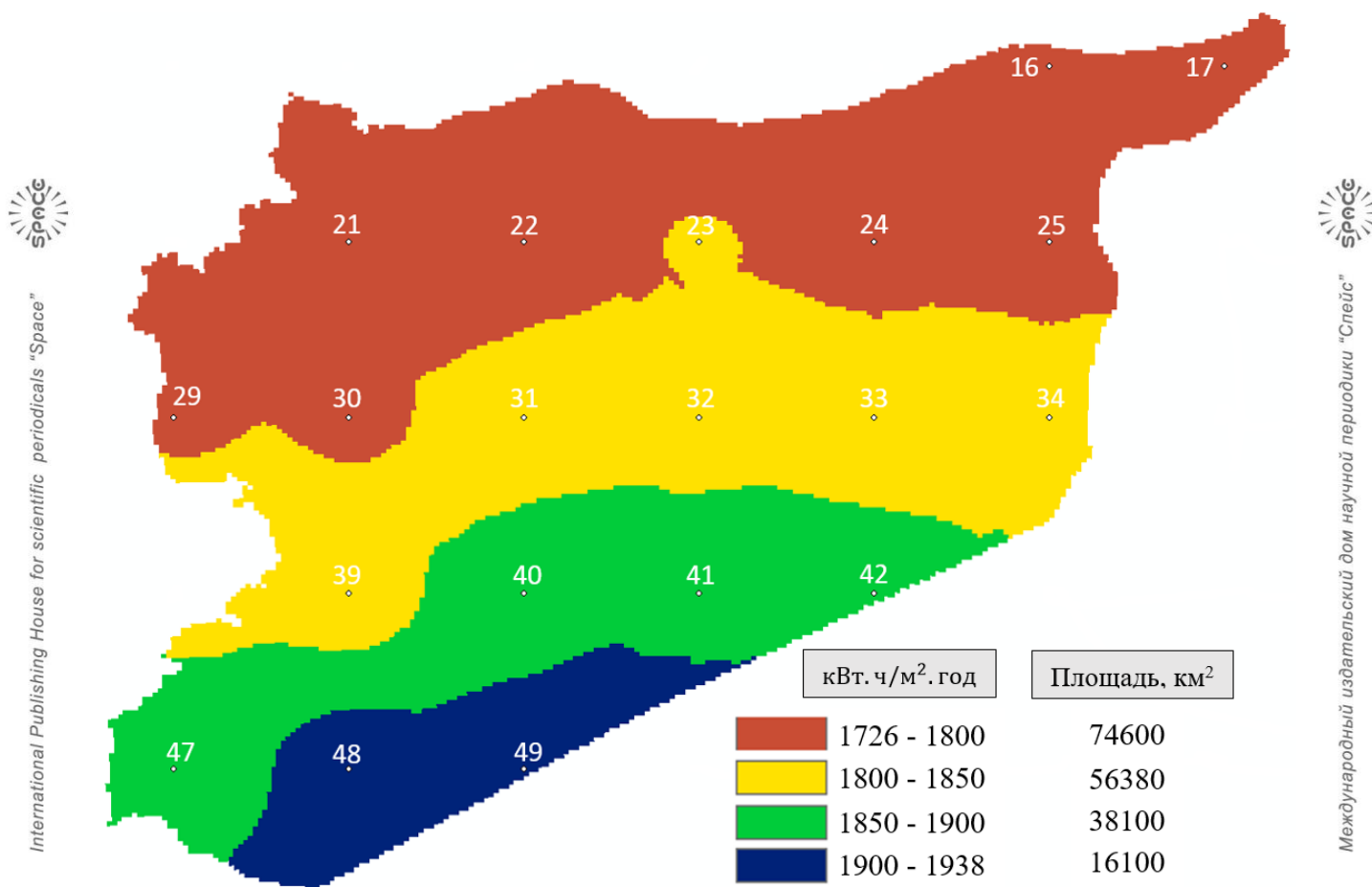


Рис. 2 – Среднегодовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность всей территории Сирии
 Fig. 2 – Average annual solar radiation on the horizontal surface of Syria territory

Проинтегрировав значения среднегодового прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность в каждой зоне на площадь зоны, определили общий природный потенциал солнечной энергии на территории Сирии (горизонтальная поверхность), который составляет $336,7 \cdot 10^3$ ТВт·ч в год. Это значение немного больше рассчитанного ранее в [13] ($345,4 \cdot 10^3$ ТВт·ч в год), что связано с использованием в [13] базы метеорологических данных Solar Atlas for the Mediterranean, у которой более высокие значения прихода СР на горизонтальную поверхность по территории и в точках, чем у базы NASA.

3.2. Методика определения среднегодового прихода солнечной энергии

на наклонную площадку территории Сирии

Методика состоит из четырех шагов:

I. Расчет на основе модели Лю и Джордана среднегодового прихода солнечной энергии на наклонную площадку в точке, находящейся на территории Сирии
 Расчет состоит из следующих этапов.

1. Формирование исходных данных, которые включают:

а) среднемесячную суточную солнечную радиацию на горизонтальную поверхность $\bar{H}_г$, кВт·ч/м²·сут;

- б) угол наклона фотоэлектрических панелей β , который представляет собой угол между плоскостью панели и горизонтальной поверхностью $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$;
- в) широту, угловое расположение к северу или к югу от экватора, к северу положительное $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$;
- г) коэффициент отражения земли (альбедо) ρ ;
- д) солнечную постоянную $G = 1\,367 \text{ Вт/м}^2$;
- е) n – номер расчетного дня года.

Значения ρ и \bar{H}_g взяты из базы метеоданных NASA [11].

По Кляйну [14] в табл. 3 приведен номер дня n для каждого расчетного месяца, то есть дня, для которого дневное поступление солнечной энергии на 1 м^2 равно среднемесячному значению.

2. Расчет склонения солнца δ , град.

Склонение солнца δ – это угловое положение солнца в солнечный полдень, то есть когда солнце находится на меридиане, по отношению к плоскости экватора: $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ (к северу значение δ положительное). Значение δ было найдено из уравнения Спенсера [14]:

$$\delta = (180/\pi) (0,006918 - 0,399912 \cos B + 0,070257 \sin B - 0,006758 \sin 2B + 0,000907 \sin 2B - 0,002697 \sin 3B + 0,00148 \sin 3B). \quad (1)$$

где

$$B = (n-1) \frac{360}{365}. \quad (2)$$

3. Расчет часового угла захода солнца ω_c

Каждые 15° часового угла равны 1 часу. Часовой угол захода солнца определяется по формуле [15]:

$$\cos \omega_c = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} = -\tan \phi \tan \delta. \quad (3)$$

4. Расчет потока среднемесячной суточной СР на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы $\bar{H}_{g,atm}$

Для широт в диапазоне от -60° до $+60^\circ$ поток среднемесячной суточной СР на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы $\bar{H}_{g,atm}$ наиболее достоверно определяется по формуле [7, 14], $\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^2\cdot\text{сут.}$:

$$\bar{H}_{g,atm} = \frac{24G}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_c + \frac{\pi \omega_c}{180} \sin \phi \sin \delta \right). \quad (4)$$

5. Расчет среднемесячного значения показателя облачности (коэффициента прозрачности) атмосферы \bar{K} определяется следующим образом [14]:

Таблица 3
Номер расчетного дня для каждого месяца года
Table 3
The number of calculated day for each month of the year

Месяц	Число	Номер дня n
Январь	17	17
Февраль	16	47
Март	16	75
Апрель	15	105
Май	15	135
Июнь	11	162
Июль	17	198
Август	16	228
Сентябрь	15	258
Октябрь	15	288
Ноябрь	14	318
Декабрь	10	344

$$\bar{K} = \frac{\bar{H}_g}{\bar{H}_{g,atm}}. \quad (5)$$

6. Расчет соотношения $\bar{H}_{g,d} / \bar{H}_g$

Среднемесячное суточное диффузное излучение на горизонтальную поверхность ($\bar{H}_{g,d}$) рассчитывалось на основе среднемесячного суточного глобального излучения на горизонтальную поверхность (\bar{H}_g) и значения коэффициента прозрачности (\bar{K}). Наиболее широко распространенная модель, представленная Erbs et al. [16] и применяемая для определения $\bar{H}_{g,d}$, выглядит так:

Для $\omega_c \leq 81,4^\circ$ и $0,3 \leq \bar{K} \leq 0,8$

$$\frac{\bar{H}_{g,d}}{\bar{H}_g} = 1,391 - 3,560\bar{K} + 4,189\bar{K}^2 - 2,137\bar{K}^3. \quad (6)$$

Для $\omega_c > 81,4^\circ$ и $0,3 \leq \bar{K} \leq 0,8$

$$\frac{\bar{H}_{g,d}}{\bar{H}_g} = 1,311 - 3,022\bar{K} + 3,427\bar{K}^2 - 1,821\bar{K}^3. \quad (7)$$

7. Расчет значения \bar{R}

\bar{R} – отношение среднемесячных суточных приходов прямой СР на наклонную $\bar{H}_{n,p}$ и на горизонтальную поверхность $\bar{H}_{g,p}$, то есть $\bar{R} = \frac{\bar{H}_{n,p}}{\bar{H}_{g,p}}$.



Солнечные батареи принято устанавливать с наклоном по направлению к экватору в северном полу-

шарии, то есть $\gamma = 0^\circ$, что соответствует условиям Сирии, поэтому используется следующая формула [17]:

$$\bar{R} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega_c + (\pi / 180) \omega_c \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_c + (\pi / 180) \omega_c \sin \phi \sin \delta}, \quad (8)$$

где γ – азимут приемной площадки, отклонение проекции на горизонтальную плоскость нормали к поверхности от местного меридиана. Для направления на юг $\gamma = 0^\circ$, для направления на восток γ равняется отрицательному значению и на запад – положительному значению, то есть $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

ω_c определяется по формуле [17]:

$$\omega_c = \min \left[\cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \right], \quad (9)$$

где \min означает, что выбирается меньший из двух элементов в скобках.

На рис. 3 показана схема для определения углов падения солнечных лучей на солнечную батарею в месте М: угол широты места ϕ_m , угол часового солн-

ца ω_c , угол склонения солнца δ , угол азимута поверхности солнечной батареи γ и угол наклона поверхности солнечной батареи β . Кроме того, показаны следующие углы:

- угол падения солнечных лучей θ – угол между солнечным лучом на поверхности солнечной батареи и нормалью к этой поверхности;
- зенитный угол солнца θ_3 – угол между солнечным лучом и нормалью к горизонтальной плоскости в месте М;
- угол высоты солнца α_c – угол в вертикальной плоскости между солнечным лучом и его проекцией на горизонтальную плоскость ($\alpha_c + \theta_3 = 90^\circ$);
- азимут солнца γ_c – угол в горизонтальной плоскости между проекцией солнечного луча и направлением на юг.

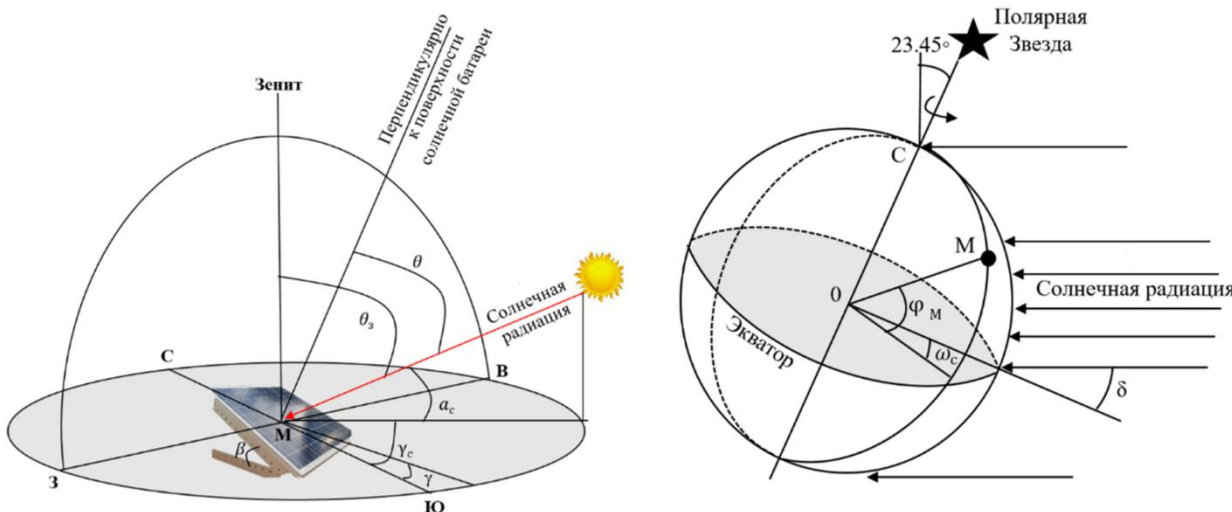


Рис. 3 – Схема для определения углов падения солнечных лучей на солнечную батарею в месте М
Fig. 3 – Scheme for determining the sunlight angles on the solar panels in place M

8. Расчет среднемесячной суточной солнечной радиации на наклонную площадку \bar{H}_n (приход суммарной радиации на наклонную площадку с углом β)

В модели Лю и Джордана солнечное излучение на наклонной поверхности считается состоящим из трех частей: прямой, диффузной и отраженной, – поэтому расчет суммарного излучения на наклонную поверхность выполняется по формуле [17]:

$$\bar{H}_n = \bar{H}_{н.п} + \bar{H}_{н.д.изв} + \bar{H}_{н.от} = \bar{H}_{г.п} \bar{R} + \bar{H}_{г.д} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H}_{г.р} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right); \quad (10)$$

$$\bar{N} = \frac{\bar{H}_n}{H_r} = \left(1 - \frac{\bar{H}_{г.д}}{H_r} \right) \bar{R} + \frac{\bar{H}_{г.д}}{H_r} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right), \quad (11)$$

где: $\bar{H}_{н.л.}$ – прямая среднемесячная суточная СР на наклонную площадку; $\bar{H}_{н.д.изо}$ – изотропная диффузная среднемесячная суточная СР на наклонную площадку; $\bar{H}_{н.от}$ – отраженная среднемесячная суточная СР на наклонную площадку; \bar{N} – отношение сред-

немесячных дневных приходов суммарной радиации на наклонную и горизонтальные поверхности.

9. Коэффициент отражения земной поверхности (альбедо) ρ

Значения ρ принимаются из базы данных NASA [11] для расчетных точек территории Сирии. В качестве примера для регионов Сирии в табл. 4 представлены значения ρ в точке № 47.

Таблица 4

Значения ρ в точке № 47

Table 4

Values of ρ in the point no. 47

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ρ	0,2	0,2	0,2	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,19	0,19

Методика расчета апробирована для точки № 47 с широтой $\varphi = 33^\circ$ и долготой 36° с углом наклона солнечной батареи $\beta = 33^\circ$. На рис. 4 показаны средне-

месячные суточные компоненты прихода СР на горизонтальную площадку для точки № 47.



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

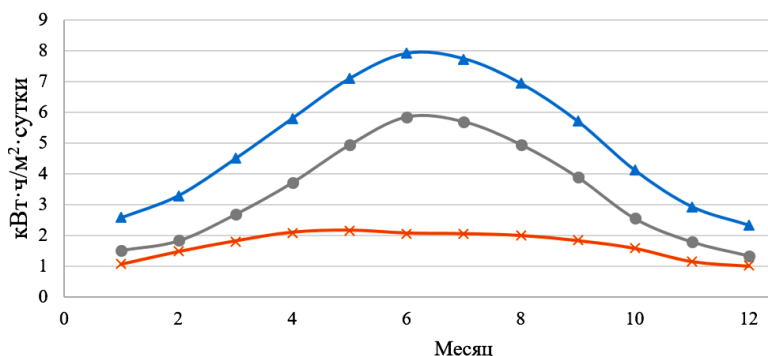


Рис. 4 – Среднемесячные суточные компоненты СР на горизонтальную площадку для точки № 47:

- суммарная среднемесячная суточная СР на горизонтальную площадку;
- диффузная среднемесячная суточная СР на горизонтальную площадку;
- прямая среднемесячная суточная СР на горизонтальную площадку

Fig. 4 – Average monthly daily components of the solar radiation on the horizontal surface for the point No. 47:

- total average monthly daily solar radiation on the horizontal surface;
- diffuse average monthly daily solar radiation on the horizontal surface;
- direct average monthly daily solar radiation on the horizontal surface

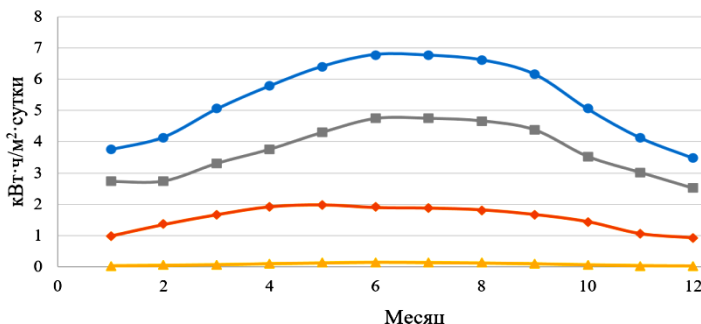
На рис. 5 показаны среднемесячные суточные компоненты СР на наклонную площадку ($\beta = 33^\circ$) для этой же точки.

Рис. 5 – Среднемесячные суточные компоненты СР на наклонную площадку ($\beta=33^\circ$) для точки № 47:

- суммарная среднемесячная суточная СР на наклонную площадку;
- диффузная среднемесячная суточная СР на наклонную площадку;
- прямая среднемесячная суточная СР на наклонную площадку;
- отраженная среднемесячная суточная СР на наклонную площадку

Fig. 5 – Average monthly daily components of the solar radiation on the inclined surface for the point No. 47:

- total average monthly daily solar radiation on the inclined surface;
- diffuse average monthly daily solar radiation on the inclined surface;
- direct average monthly daily solar radiation on the inclined surface;
- reflected average monthly daily solar radiation on the inclined surface



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



Сравнение графиков показывает, что для наклонной площадки ($\beta = 33^\circ$) приход солнечной энергии в месяцы (9, 10, 11, 12, 1, 2, 3) несколько больше, чем для горизонтальной поверхности, и, наоборот, в месяцы (4, 5, 6, 7, 8) приход на горизонтальную поверхность больше, чем на наклонную. Среднегодовой суточный приход СР на наклонную площадку $\beta = 33^\circ$ составляет 5,34 кВт·ч/м²·сут, а на горизонтальную поверхность – 5,08 кВт·ч/м²·сут, то есть изменение угла наклона приводит к увеличению прихода среднегодовой суточной СР в 1,05 раза.

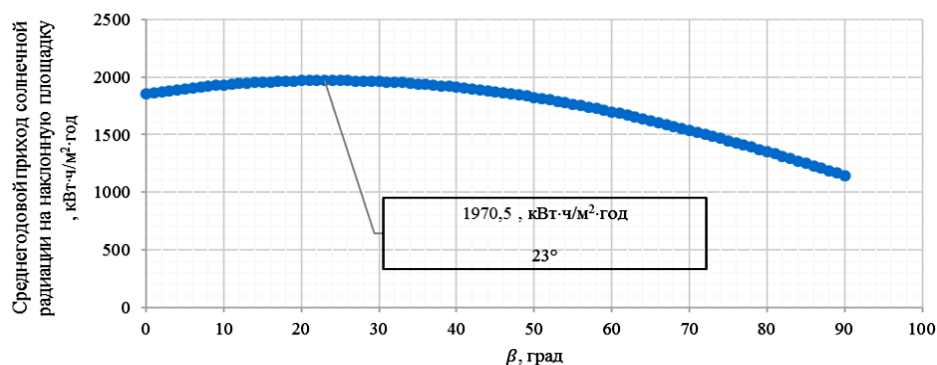


Рис. 6 – Изменение среднегодового прихода солнечной радиации для разных углов наклона β в точке № 47
 Fig. 6 – Change of average annual solar radiation for different tilt angles β in the point № 47

Месячный оптимальный угол наклона солнечной батареи в точке № 47 определяется максимальным среднемесячным приходом солнечной радиации на наклонную площадку. В табл. 5 приведены оптимальные углы наклона солнечной батареи для каждого месяца года в точке № 47 и значения прихода СР для этих углов. Анализ табл. 5 показал, что среднегодовой приход солнечной радиации на наклон-

II. Выбор месячного и годового оптимального угла наклона солнечной батареи в точке № 47, находящейся на территории Сирии.

Для определения годового и месячного оптимального угла наклона солнечной батареи в точке № 47 были рассчитаны среднемесячный и среднегодовой приход солнечной радиации на наклонную площадку по предложенной методике с учетом длительности каждого месяца Δt при изменении от 0° до $+90^\circ$ с шагом 1° . Годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи в точке № 47 при $\beta_{\text{год.опт}}$ составил 23° , при этом максимальный среднегодовой приход солнечной радиации на наклонную площадку равен $1970,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{г}$ (рис. 6).

ную площадку в точке № 47 при использовании месячного оптимального угла наклона солнечной батареи составляет $2081,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{г}$. В результате расчетов установлено, что наибольший приход солнечной энергии в течение года при постоянном угле наклона батареи β , равном 23° , составляет $1970,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{г}$. Данное значение оптимального угла наклона батареи на 11° меньше значения широты места ($\varphi = 33^\circ$).

Таблица 5
 Сводная таблица по выбору месячного и годового оптимального угла наклона солнечной батареи в точке № 47

Table 5
 Summary table of selection of monthly annual optimal tilt angle of the solar panels at the point № 47

Месяц	Δt , сутки	$\bar{H}_{\text{н.мес}}$, кВт·ч/м ² ·мес												$\beta_{\text{мес.опт}}$	$\bar{H}_{\text{н.мес}}$, кВт·ч/м ² ·мес при $\beta_{\text{мес.опт}}$
		$\beta=0^\circ$	$\beta=1^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=16^\circ$	$\beta_{\text{год.опт}}=23^\circ$	$\beta=26^\circ$	$\beta=32^\circ$	$\beta=41^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=53^\circ$	$\beta=56^\circ$	$\beta=58^\circ$		
I	31	79,98	81,42	93,57	100,74	108,04	110,80	115,59	120,70	122,50	124,27	124,43	124,39	56°	124,43
II	28	92,12	93,20	102,06	106,10	111,67	113,31	115,89	117,98	118,22	117,40	116,65	116,02	45°	118,22
III	31	139,19	140,23	148,21	152,09	155,09	155,86	156,46	155,02	153,48	148,78	146,48	144,79	32°	156,46
IV	30	173,99	174,57	178,16	178,85	177,94	176,98	174,06	167,21	163,25	153,77	149,71	146,85	16°	178,85
V	31	219,76	219,80	218,26	215,29	209,89	206,95	199,97	186,92	180,20	165,24	159,17	154,99	1°	219,80
VI	30	237,26	236,91	231,86	226,56	218,46	214,37	205,14	188,84	180,74	163,21	156,24	151,50	0°	237,26
VII	31	239,90	239,70	235,83	231,21	223,78	219,95	211,14	195,29	187,32	169,89	162,90	158,13	0°	239,90
VIII	31	215,12	215,54	217,30	216,39	213,24	211,20	205,92	195,10	189,23	175,70	170,05	166,13	10°	217,30
IX	30	171,30	172,35	180,05	183,36	185,34	185,55	184,84	180,94	178,13	170,62	167,17	164,68	26°	185,55
X	31	127,72	129,09	140,15	146,13	151,61	153,44	156,15	157,77	157,55	155,35	153,93	152,81	41°	157,77
XI	30	88,2	89,65	101,76	108,81	115,88	118,51	122,98	127,69	128,97	130,04	129,91	129,67	53°	130,04
XII	31	72,54	73,92	85,57	92,49	99,59	102,29	107,02	112,37	114,04	116,04	116,32	116,36	58°	116,36
$\bar{H}_{\text{н.год}} = \sum \bar{H}_{\text{н.мес}}$, кВт·ч/м ² ·год															
Год	–	1857,1	1866,4	1932,8	1958,9	1970,5	1969,2	1955,2	1906	1873,6	1790,3	1753	1726,3	–	2081,9
$\delta \bar{H}_{\text{н}}$, %	–	-10,8	-10,3	-7,2	-5,9	-5,3	-5,4	-6,1	-8,4	-10	-14	-15,8	-17,1	–	–

Кроме того, была рассчитана погрешность $\delta \bar{H}_n$, %, между среднегодовым приходом солнечной радиации на наклонную площадку с учётом месячного оптимального угла наклона солнечной батареи ($\bar{H}_{n,год}$ при $\beta_{мес.опт}$) и среднегодовым приходом солнечной радиации на наклонную площадку с учётом годового постоянного оптимального угла наклона солнечной батареи ($\bar{H}_{n,год}$ при $\beta = const$). $\delta \bar{H}_n$ определяется по формуле [15]:

$$\delta \bar{H}_n \% = \frac{\bar{H}_{n,год}(\beta = const) - \bar{H}_{n,год}(\beta = \beta_{мес.опт})}{\bar{H}_{n,год}(\beta = \beta_{мес.опт})} \cdot 100. \quad (12)$$

Из полученных данных следует, что наименьшая погрешность соответствует случаю, когда $\beta_{год.опт} = 23^\circ$

($\delta \bar{H}_n = 5,3 \%$), и $\beta = 32^\circ$ (угол близкий к значению широты в точке № 47; $\delta \bar{H}_n = 6,1 \%$).

III. Проверка достоверности предлагаемой методики, реализованной в точке № 47 для всей территории Сирии

Для оценки точности результатов методики расчета применялись коэффициенты корреляции (R^2). Для проверки достоверности проведено сравнение между результатами, полученными с помощью предлагаемой методики, и результатами, которые были взяты с сайта метеоданных NASA [11, 18]. Для наибольшей точности коэффициент корреляции (R^2) должен приближаться к 1. Резюме этих сравнений приведены в табл. 6.

Сравнение результатов расчетов с результатами метеоданных NASA

Таблица 6

Comparison of calculation results with the results of the NASA weather data

Table 6

Месяц	Данные сайта NASA			Предлагаемая методика расчета			Коэффициент корреляции (R^2)		
	\bar{H}_n при ($\beta = 33^\circ$), кВт·ч/м ² ·сут	\bar{H}_n при ($\beta_{мес.опт}$), кВт·ч/м ² ·сут	$\beta_{мес.опт}$, град.	\bar{H}_n при ($\beta = 33^\circ$), кВт·ч/м ² ·сут	\bar{H}_n при ($\beta_{мес.опт}$), кВт·ч/м ² ·сут	$\beta_{мес.опт}$, град.	R^2 для значений \bar{H}_n при ($\beta = 33^\circ$)	R^2 для значений \bar{H}_n при ($\beta_{мес.опт}$)	R^2 для значений $\beta_{мес.опт}$
I	3,59	3,79	54	3,75	4,01	56	0,999	0,998	0,998
II	4,16	4,24	46	4,15	4,22	45			
III	5,04	5,04	33	5,05	5,05	32			
IV	5,76	5,90	19	5,78	5,96	16			
V	6,44	7,08	5	6,41	7,09	1			
VI	6,82	7,86	0	6,78	7,91	0			
VII	6,82	7,70	2	6,76	7,74	0			
VIII	6,68	7,04	12	6,61	7,01	10			
IX	6,23	6,25	29	6,15	6,18	26			
X	5,16	5,23	43	5,05	5,09	41			
XI	4,02	4,22	53	4,12	4,33	53			
XII	3,38	3,62	56	3,47	3,75	58			
Год	5,35	5,67	–	5,34	5,69	–			

В табл. 6 показано, что предлагаемая методика расчета является достаточно точной (коэффициент корреляции имеет значение больше чем 0,998). Следовательно, предлагаемая методика расчета может применяться на всей территории Сирии для определения среднегодового прихода солнечной энергии на наклонную площадку и выбора годового оптимального угла наклона солнечной батареи.

IV. Применение методики для расчета узловых точек на территории Сирии

После того как был определен годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи в точке № 47 ($\beta_{год.опт} = 23^\circ$), в которой достигается максимальный годовой приход солнечной энергии на наклонную площадку, составляющий 1 970,5 кВт·ч/м²·г., данную методику можно применить для нахождения

значений прихода для всех точек на территории Сирии. В табл. 7 показаны результаты применения методики для точек, расположенных в границах Сирии (см. рис. 1). Определены оптимальные значения угла наклона батареи и значения максимальных среднегодовых приходов солнечной энергии на эту площадку.

На основании полученных значений прихода CP в исследованных точках проведено интерполирование прихода CP для всей территории Сирии с помощью метода обратных взвешенных расстояний (ОВР) и программы ArcGIS. Проведено зонирование территории Сирии и выделено пять зон, характеризующихся соответствующим годовым оптимальным углом наклона солнечной батареи, и рассчитана площадь каждой зоны (рис. 7).



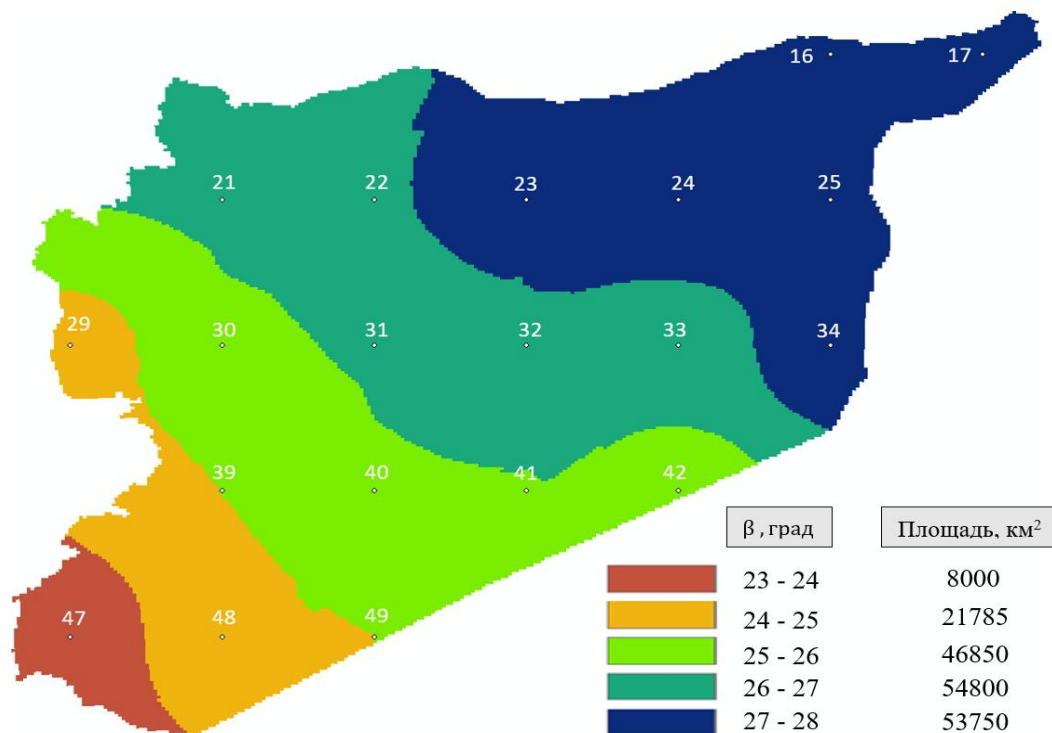


Рис. 7 – Годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи для территории Сирии
 Fig. 7 – Annual optimal tilt angle of the solar radiation in Syria

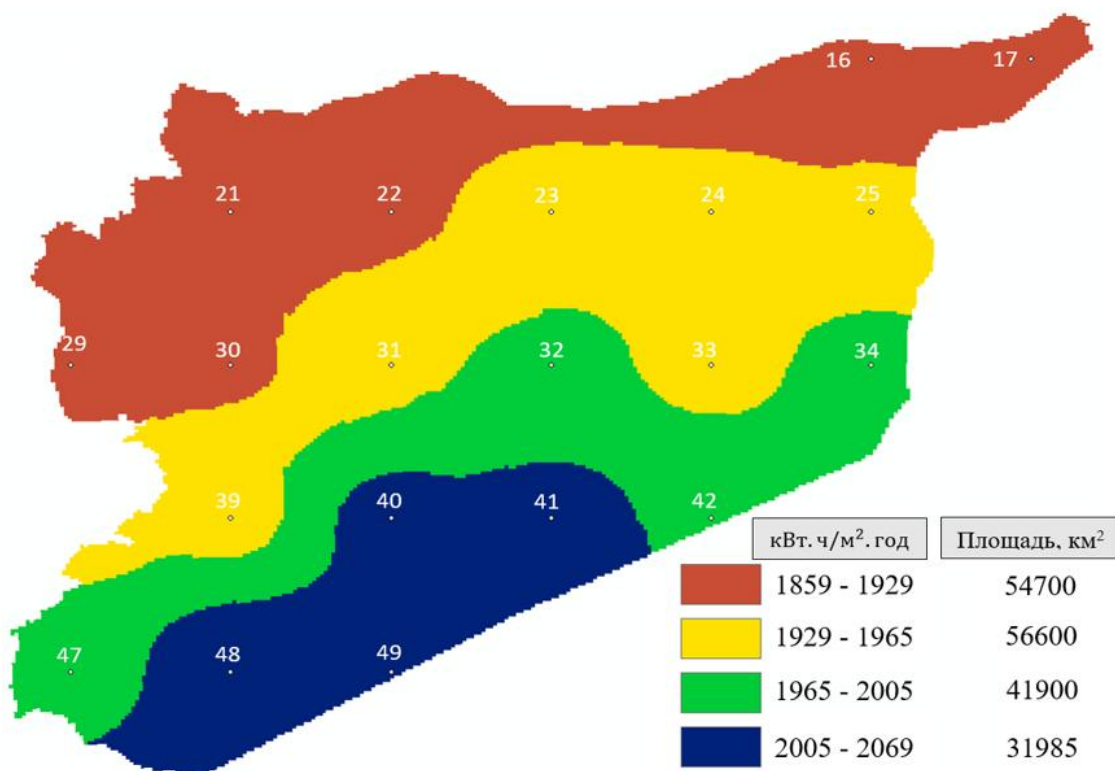


Рис. 8 – Среднегодовой приход солнечной энергии на наклонную площадку для всей территории Сирии при использовании оптимального угла наклона солнечной батареи
 Fig. 8 – The average annual solar radiation on an inclined surface in Syria by using the optimal tilt angle of solar panels

Таблица 7

Среднегодовой приход солнечной энергии на наклонную площадку при оптимальном угле в точках, расположенных в границах Сирии

Table 7

Average annual solar radiation on an inclined surface by using the optimal annual tilt angle at the points within the borders of Syria

№ точки	Годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи $\beta_{\text{год,опт}}$, град.	Среднегодовой приход солнечной энергии на наклонную площадку $\bar{H}_{\text{год}}$, кВт·ч/м ² ·г.
16	28	1 898,5
17	28	1 903,8
21	26	1 912,4
22	27	1 923,9
23	28	1 959,1
24	28	1 947,5
25	28	1 934,4
29	24	1 905
30	26	1 920,8
31	26	1 959,9
32	27	1 973,6
33	26	1 951,2
34	28	1 985,5
39	25	1 946,2
40	26	2 028,9
41	26	2 036,6
42	25	2 000,9
47	23	1 970,5
48	25	2054,1
49	25	2069,8

На рис. 7 видно, что годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи на территории Сирии изменяется в диапазоне от 23° на юго-западе Сирии до 28° на северо-востоке Сирии.

Кроме того, проведено зонирование территории Сирии и выделено четыре зоны, характеризующиеся соответствующим среднегодовым приходом солнечной энергии на наклонную площадку, при использовании оптимального угла наклона солнечной батареи и рассчитана площадь каждой зоны (рис. 8). На рис. 8 видно, что среднегодовой приход солнечной энергии на наклонную площадку на территории Сирии при использовании оптимального угла наклона солнечной батареи изменяется в диапазоне от 1 859 кВт·ч/м²·г. до 2 069 кВт·ч/м²·г. Самые высокие значения СП на наклонную площадку наблюдаются в юго-восточной Сирии.

Проинтегрировав значения среднегодового прихода солнечной энергии на наклонную площадку в каждой зоне на площадь зоны, определили общий природный потенциал солнечной энергии территории Сирии на оптимальные наклонные площадки, который составляет $362,1 \cdot 10^3$ ТВт·ч в год.

4. Заключение

Разработанная авторами методика определения прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность на основе базы метеоданных NASA и метода интерполяции ОВР в программе ArcGIS, применявшаяся при создании атласа прихода солнечной энергии и определения общего природного потенциала солнечной энергии на горизонтальную поверхность для Сирии, может быть использована для любой территории или страны мира.

Разработанная авторами методика для определения прихода солнечной энергии на наклонную площадку на основе базы метеоданных NASA и модели расчета прихода СП в конкретной точке Лью и Джордана и метода интерполяции ОВР в программе ArcGIS, применявшаяся при создании атласа прихода солнечной энергии на наклонную площадку для Сирии, с выбором оптимальных углов наклона солнечных батарей и расчёта общего природного потенциала солнечной энергии на оптимальные наклонные площадки является достаточно точной (коэффициент корреляции имеет значение больше чем 0,998) и также может быть использована для любой территории или страны мира.

Разработанный авторами атлас прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность всей территории Сирии показал, что среднегодовой приход изменяется в диапазоне от 1 726 кВт·ч/м²·г. до 1 936 кВт·ч/м²·г., и юго-восточная часть Сирии имеет самые высокие значения СП на горизонтальную поверхность.

Атлас прихода солнечной энергии на наклонные площадки при использовании годовых оптимальных углов наклона солнечной батареи показал, что среднегодовой приход солнечной энергии на наклонную площадку всей на территории Сирии изменяется в диапазоне от 1 859 кВт·ч/м²·г. до 2 069 кВт·ч/м²·г. Юго-восточная часть Сирии имеет наиболее высокие значения прихода СП.

При изменении угла наклона солнечной батареи от 0° до +90° с шагом 1° годовой оптимальный угол наклона солнечной батареи для всей территории Сирии изменяется в диапазоне от 23° в юго-западной Сирии и до 28° в северо-восточной Сирии.

Общий природный потенциал солнечной энергии на горизонтальную поверхность в Сирии, рассчитанный на основе базы метеорологических данных NASA, составляет $336,7 \cdot 10^3$ ТВт·ч в год, а общий природный потенциал солнечной энергии в Сирии на оптимальные наклонные площадки – $362,1 \cdot 10^3$ ТВт·ч в год.



Список литературы

[1] International Energy Agency (IEA), Key world energy statistics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>. – (Дата обращения: 01.06.2018).

[2] Елистратов, В.В. Современное состояние и тренды развития ВИЭ в мире / В.В. Елистратов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ). – 2017. – № 01–03. – С. 84–100.

[3] International Renewable Energy Agency (IRENA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2017.pdf. – (Дата обращения: 01.06.2018)

[4] REN21, Renewables 2017 Global Status Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf. – (Дата обращения: 01.06.2018).

[5] Рамадан, А. Использование возобновляемых источников энергии в Сирии / А. Рамадан, В.В. Елистратов. – В сборнике: Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов // Материалы V Международной конференции. – 2017. – С. 135–141.

[6] Рамадан, А. Потенциал традиционных и возобновляемых источников энергии в Сирии / А. Рамадан, В.В. Елистратов // Энергохозяйство за рубежом. – 2017. – № 5 (294). – С. 15–21.

[7] Ibrahim, A. Estimation of Solar Irradiance on Inclined Surfaces Facing South in Tanta, Egypt / A. Ibrahim [et al.] // International Journal of Renewable Energy Research IJREER. – 2011. – Vol. 1. – No.1. – P.18–25.

[8] Елистратов, В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учебное пособие, под ред. В. В. Елистратова / В.В. Елистратов, Е.С. Аронова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 164 с.

[9] Shukla, K.N. Comparative study of isotropic and anisotropic sky models to estimate solar radiation incident on tilted surface: a case study for Bhopal, India / K.N. Shukla, S. Rangnekar, K. Sudhakar // Energy Reports. – 2015. – Vol. 1. – P. 96-103.

[10] Nikiforiadis, L. Modeling Solar Irradiance / L. Nikiforiadis. – Master thesis in Energy Systems, School of science & technology, international Hellenic university, Thessaloniki – Greece, 2014. – 145 p.

[11] Источник базы метеоданных NASA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>. – (Дата обращения: 01.06.2018).

[12] Childs, C. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst / C. Childs. – In ArcUser, ESRI, California, 2004. – P. 32–35.

[13] Elistratov, V.V. Energy potential assessment of solar and wind resources in Syria / V.V. Elistratov, A.

Ramadan // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – Vol. 16. – No. 2. – P. 208–216; doi: 10.5937/jaes16-16040.

[14] Duffie, J.A. Solar Engineering of Thermal Processes: 4th Edition / J.A. Duffie, W.A. Beckman. – Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, 2013. – 928 p.

[15] Виссарионов, В.И. Солнечная энергетика, Учебное пособие / В.И. Виссарионов [и др.]. – Москва, МЭИ, 2008. 320 с.

[16] Baklouti, I. Estimation of solar radiation on horizontal and inclined surfaces in Sfax / I. Baklouti, Z. Driss, M.S. Abid // TUNISIA, 2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology. Hammamet, 2012. – P. 131–140; doi: 10.1109/REVET.2012.6195260.

[17] Benkacali, S. Comparative study of two models to estimate solar radiation on an inclined surface / S. Benkacali, K. Gairaa // Revue des Energies Renouvelables. – 2012. – Vol. 15. – No. 2. – P. 219–228.

[18] Khalil, S.A. Performance of statistical comparison models of solar energy on horizontal and inclined surface / S.A. Khalil, A.M. Shaffie // International Journal of Energy and Power (IJEP). – 2013. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 8–25.

References

[1] International Energy Agency (IEA), Key world energy statistics. Available in: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf> (06.01.2018).

[2] Elistratov V.V. Current situation and trends of the world RES development (Sovremennoye sostoyaniye i trendy razvitiya VIE v mire). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ)*, 2017;1–3:84–100.

[3] International Renewable Energy Agency (IRENA), Available in: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2017.pdf (06.01.2018).

[4] REN21, Renewables 2017 Global Status Report. Available in: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf (01.06.2018).

[5] Ramadan A., Elistratov V.V. Use of renewable energy sources in Syria (Ispol'zovaniye vozobnovlyayemykh istochnikov energii v Sirii). In the collection: Renewable energy: problems and prospects. Actual problems of renewable energy resources development. Proceedings of the V International conference – Makhachkala (V sbornike: Vozobnovlyayemaya energetika: problemy i perspektivy. Aktual'nyye problemy osvoyeniya vozobnovlyayemykh energoresursov Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii), 2017; pp. 135–141 (in Russ.).

[6] Ramadan A., Elistratov V.V. Potential of traditional and renewable energy sources in Syria (Potentsial traditsionnykh i vozobnovlyayemykh istochnikov energii



v Sirii). *Energokhozyaystvo za rubezhom*, 2017;5(294):15–21 (in Russ.).

[7] Ibrahim A., El-Sebaei A., Ramadan M.R.I., El-Broullesy S.M. Estimation of Solar Irradiance on Inclined Surfaces Facing South in Tanta, Egypt. *International Journal of Renewable Energy Research IJRES*, 2011;1(1):18–25.

[8] Elistratov V.V., Aronova Ye.S. Solar power installations. Assessment of solar radiation incoming: text book (Solnechnyye energoustanovki. Otsenka postupleniya solnechnogo izlucheniya: uchebnoye posobiye). Ed.: V. V. Yelistratova. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta Publ., 2012; 164 p. (in Russ.).

[9] Shukla K.N., Rangnekar S., Sudhakar K. Comparative study of isotropic and anisotropic sky models to estimate solar radiation incident on tilted surface: a case study for Bhopal, India. *Energy Reports*, 2015;1:96–103.

[10] Nikiforiadis L. Modeling Solar Irradiance. Master thesis in Energy Systems, School of science & technology, international Hellenic university, Thessaloniki – Greece, 2014; 145 p.

[11] NASA Surface meteorology and Solar Energy. Available in: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (06.01.2018).

[12] Childs C. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. In ArcUser, ESRI, California, 2004; pp. 32–35.

[13] Elistratov V., Ramadan A. Energy potential assessment of solar and wind resources in Syria. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018;16(2):208–216; doi: 10.5937/jaes16-16040.

[14] Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes 4th Edition. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, 2013; 928 p.

[15] Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.K. Solar energy, textbook (Solnechnaya energetika. Uchebnoye posobiye). Moscow: MEI Publ., 2008; 320 p. (in Russ.).

[16] Baklouti I., Driss Z., Abid M.S. Estimation of solar radiation on horizontal and inclined surfaces in Sfax. TUNISIA, 2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology. Hammamet, 2012, pp. 131–140; doi: 10.1109/REVET.2012.6195260.

[17] Benkacali S., Gairaa K. Comparative study of two models to estimate solar radiation on an inclined surface. *Revue des Energies Renouvelables*, 2012;15(2):219–228.

[18] Khalil S.A., Shaffie A.M. Performance of statistical comparison models of solar energy on horizontal and inclined surface. *International Journal of Energy and Power (IJEP)*, 2013;2(1):8–25.

Транслитерация по BSI



Wind
EUROPE

**CONFERENCE
& EXHIBITION**
2019 2 - 4 APRIL
BILBAO

WindEurope and the Bilbao Exhibition Centre (BEC) today agreed to work together to deliver the WindEurope Conference & Exhibition from 2-4 April 2019 in Bilbao. The conference and exhibition is the most important event in Europe for the wind industry and is one of the reference events of the association, with an average of 8,000 professionals attending from all over the world and over 400 exhibitors from 50 countries.

The Basque Country is a shining example of the economic strength and potential of the wind industry, a sector which represents 330,000 jobs across Europe. It illustrates that even a region that is not the best natural wind resource itself is benefitting hugely from the growth of the sector by producing and exporting the relevant equipment and technology to the rest of Spain and Europe.

The region has become a significant industrial cluster for wind energy, and this is creating real local economic value and jobs. Haizea Wind, for example, is currently undertaking new investment and will soon present its latest initiative in the region. Along with the recent decision by the newly-formed Siemens Gamesa Renewable Energy to base their global HQ in Bilbao, it's just one of many examples of the importance of the industry in and around Bilbao – and illustrates why Bilbao is a logical choice to host the annual European wind industry get-together in 2019.

WindEurope CEO Giles Dickson said: “The Basque Country made a conscious decision to invest in the wind industry and is reaping the benefits in investment, jobs and growth. More broadly Spain is also a leading European wind manufacturing hub, accounting for 22,000 jobs and billions in export revenue. Our bet on Bilbao is a sign of returning industry confidence. After a tough past three years, Spain’s wind energy market is now back on the map”.

Spanish Wind Energy Association (AEE) Chairman Juan Diego Diaz said: “The more than 20 industrial centres that our members have in the region not only make Bilbao a reference point for the celebration of this conference but also highlight the Basque Government’s commitment to our industry. AEE considers the Basque Country to be a strategic area for the development of the domestic and international wind power industry and the most important offshore hub of Spain”.

windeurope.org/newsroom/press-releases/wind-energy-industry-bets-on-bilbao/

