



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SOLAR ENERGY

Статья поступила в редакцию 14.06.19. Ред. рег. № 2726

The article has entered in publishing office 14.06.19. Ed. reg. No. 2726

УДК 621.311.019.3

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАЙОНАХ  
С РАЗБРОСАННЫМИ ПОСЕЛЕНИЯМИ\***

*Д.С. Эльджруши, Р.С. Альтами\*, О.М. Бен-Гешир, О.И. Эльхаддад*

Университет Мисураты (Ливия), инженерный факультет  
тел.: 2(1891)425-53-45; e-mail: aljarushi@gmail.com  
\*General Electric Company, Триполи, Ливия

doi: 10.15518/isjaee.2019.19-21.012-016

Заключение совета рецензентов: 21.06.19 Заключение совета экспертов: 27.06.19 Принято к публикации: 03.07.19

Солнечное излучение, поступающее на территорию Ливии, представляет собой неисчерпаемый источник чистой энергии. Однако солнечная энергия в этой стране применяется крайне редко, преимущественно для подогрева воды в домашних хозяйствах или в качестве источника энергоснабжения телекоммуникационных станций и частных домов, расположенных на значительном расстоянии от централизованных электросетей.

В статье рассматриваются вопросы экономической целесообразности и надежности распределенной солнечной генерации с применением фотоэлектрических устройств (фотовольтаика) в районах с разбросанными поселениями и в частных домах на территории Ливийской пустыни, а также проводится сравнительный анализ этих систем с централизованными энергосетями и дизельными генераторами, обеспечивающими энергоснабжение большинства населенных пунктов по всей стране.

Ключевые слова: солнечная энергия; фотовольтаика; солнечная генерация; распределенная энергетика; малые населенные пункты; экономическая целесообразность; надежность.

**DISTRIBUTED POWER GENERATION FOR SCATTERED POPULATION**

*Gibril S. Eljrushi, Rajab S. Alrtami\*, Osama M. Ben-Gheshir,  
Omar I. Elhaddad*

Faculty of Engineering, University of Misurata, Libya  
mob.: 2 (1891) 425 53 45, e-mail: aljarushi@gmail.com  
\*General Electric Company, Tripoli, Libya

doi: 10.15518/isjaee.2019.19-21.012-016

Referred 21 June 2019 Received in revised form 27 June 2019 Accepted 3 July 2019

Solar radiation that incidents on the Libyan land represents practically unlimited reservoir of clean and inexhaustible energy. There are only few solar energy applications in the country, mainly for domestic water heating, telecommunication stations, and some individual houses far away from the central grid.

\*Эльджруши Д.С., Альтами Р.С., Бен-Гешир О.М., Эльхаддад О.И. Распределенная генерация электроэнергии в районах с разбросанными поселениями // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;19-21:12-16.

Ранее публиковалась : 6<sup>th</sup> International Ege Energy Symposium & Exhibition, June 28-30,2012, Izmir, Turkey.

This paper discusses the economics and reliability of distributed solar, photovoltaic, PV, power generation for the scattered towns, villages and individual homes, in the Libyan Desert, and to compare it to the central grid and diesel engines that are usually used to supply electricity to some of these towns and villages around the country.

Keywords: solar PV; distributed power generation; villages; economics; reliability.

### 1. Введение

Ливия занимает около 1 800 км южного побережья Средиземного моря (рис. 1). Как видно на рисунке, страна граничит с шестью африканскими государствами: Египет, Судан, Чад, Нигерия, Тунис и Алжир. Общая площадь ее территории составляет приблизительно 1,76 млн км<sup>2</sup>, что более чем вдвое превышает площадь Турции. Эту огромную территорию, около 80 % которой занято пустыней или полу-

пустыней, населяет примерно 6,5 млн человек, проживающих преимущественно вдоль побережья Средиземного моря, северная часть которого омывает Европейский континент [1]. Остальная часть населения проживает в малых населенных пунктах, включающих в себя различные поселки городского и сельского типов, разбросанных по территории пустыни, где распределение электроэнергии обходится достаточно дорого и, как правило, оказывается ненадежным.



Рис. 1 – Карта Ливии с разбросанными малыми населенными пунктами  
 Fig. 1 – The location of Libya and its scattered small towns and villages

Переход к возобновляемой энергетике должен рассматриваться сегодня не в качестве альтернативного варианта, но как неотъемлемая составляющая прав человека. Поэтому правительство несет ответственность за подключение населения своей страны к тем или иным источникам электроэнергии. В любом случае ему не удастся достичь повышения уровня и качества жизни людей, проживающих в отдаленных пустынных районах, как в случае с Ливией, без обеспечения их электричеством.

На сегодняшний день система энергоснабжения Ливии обладает достаточно развитой инфраструктурой с точки зрения протяженности линий по сравнению с относительно небольшой численностью населения в этих районах. И все же, даже такая протяженная сеть не охватывает множество малых населенных пунктов, разбросанных по всей территории

страны. Большинство из них снабжаются электричеством, вырабатываемым дизельными генераторами, при том что доставка дизельного топлива в эти отдаленные районы обходится достаточно дорого.

С другой стороны, в Ливии до сих пор не уделено должного внимания развитию солнечной энергетики, несмотря на то, что показатель интенсивности солнечного излучения в этой стране – один из самых высоких в мире. По сравнению с электричеством, вырабатываемым дизельным генератором, электроэнергия, полученная с помощью солнечных фотоэлектрических (ФЭ) модулей за период 20 лет срока службы обоих устройств, обходится более чем на 50 % дешевле. Кроме того, использование солнечных модулей предотвращает ежегодный выброс колоссального объема загрязняющих веществ в атмосферу [2].



## 2. Неисчерпаемый источник солнечной энергии

Ливия относится к странам так называемого солнечного пояса, характеризующимся наибольшей ин-

тенсивностью солнечного излучения. По оценкам экспертов, среднегодовая суммарная солнечная радиация в Ливии составляет  $2\,200\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , а продолжительность солнечного сияния превышает в среднем  $3\,300\text{ ч}$  (рис. 2) [3].

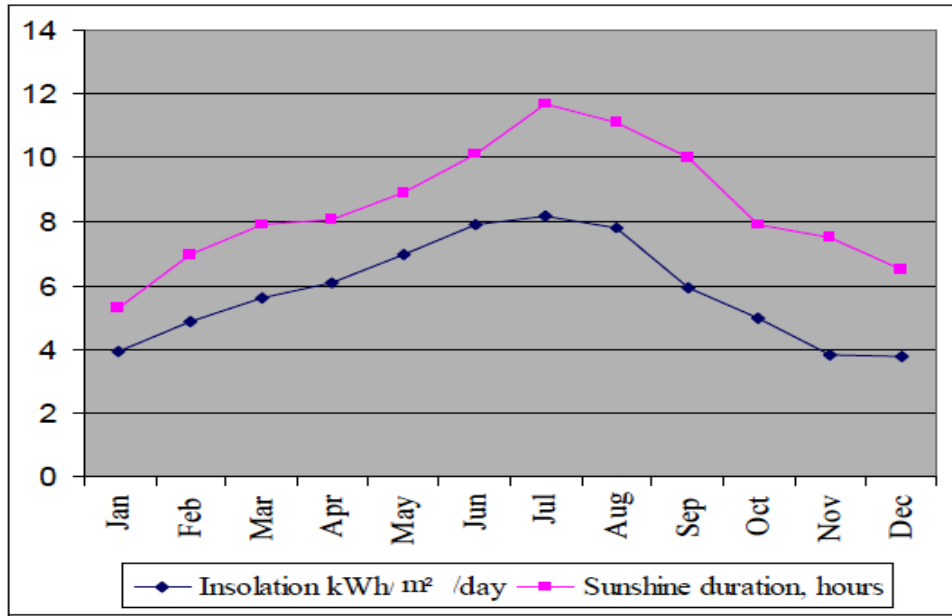


Рис. 2 – Средний показатель солнечного излучения и продолжительности солнечного сияния на территории Ливии  
 Fig. 2 – Solar insolation and sunshine duration average of Libya

Эта территория расположена в Северной Африке в центральной части Сахары, пустынная почва которой практически непригодна для обработки. На рис. 3 показан суммарный запас солнечной энергии Северной Африки в целом и потенциал Ливийской пустыни в отдельности. Площади, обозначенные на рисунке желтыми квадратами, способны обеспечить солнечной генерацией в объемах, равных количеству электроэнергии, потребленной в 2005 г. в миро-

вом масштабе (17 000 млрд кВт·ч), в Европейском союзе (ЕС-25, 200 млрд кВт·ч), а также в странах MENA, включая Ближний Восток и Северную Африку (600 млрд кВт·ч). Более того, многие эксперты сошлись во мнении, что потенциала солнечной энергии в Северной Африке будет вполне достаточно, чтобы удовлетворить мировой спрос на электроэнергию в будущем [4].

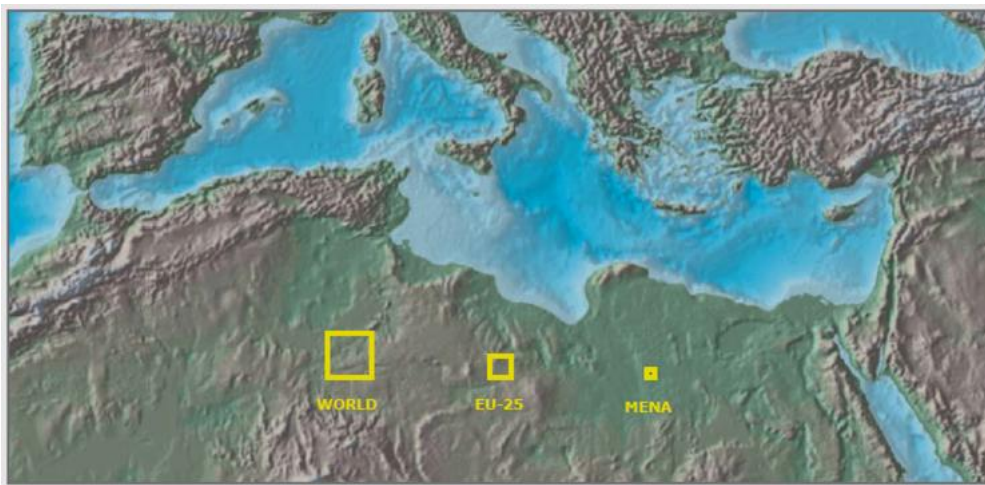


Рис. 3 – Потенциал Ливии способен в полном объеме обеспечить потребности ЕС в электричестве  
 Fig. 3 – Libya alone could supply EU with all its needs of electricity





Складывается впечатление, что многие мировые лидеры относятся несерьезно к вопросам защиты окружающей среды и энергоснабжения будущего. Поэтому на сегодняшний день огромные запасы природных ресурсов, как и современные технологии их использования, остаются без внимания.

Несмотря на то, что Ливия обладает огромным потенциалом чистой солнечной энергии, в стране до сих пор используются нефть и природный газ для покрытия потребности в электричестве. В отдаленных же районах источником электроснабжения служат дизельные генераторы. Все это указывает на отсутствие должного внимания как к проблемам экологических последствий сжигания ископаемого топлива, так и к вопросам сбережения природных запасов нефти и газа. Мы надеемся, что ливийское правительство изменит свое отношение к солнечной энергетике.

### 3. Экономическая целесообразность и надежность

Ключевым словом, в которое упираются все обсуждения вопроса о солнечной энергетике, является слово «дорогостоящее», вне зависимости от места и времени, без указания на конкретные цифры и факты. В данной работе представлены реальные примеры и результаты выполненных расчетов.

Небольшое поселение Бир Гхнния расположено на северо-востоке страны в 75 км от ближайшей точки подключения к централизованной электросети (рис. 4). Исследования проводились в январе 2009 г. На тот момент потребность населенного пункта в электричестве оценивалась в 50 кВт при ожидаемом ежегодном росте на 8 %. Предполагается, что экономически целесообразный срок реализации проекта составляет 25 лет.



Рис. 4 – Относительное местоположение поселения Бир Гхнния  
Fig. 4 – The relative location of the village of Beer Ghnnia

В данной работе рассмотрены два альтернативных варианта:

- подключение к централизованной электросети через 65-киловольтную линию электропередач (ЛЭП) протяженностью 75 км. Расчетная стоимость проекта – 96 000 долл. США/км. Кроме того, для вывода из эксплуатации подстанции 66/11 кВт мощ-

ностью 5 МВт потребуется дополнительно порядка 1,5 млн долл. США.

- локальная солнечная генерация мощностью 263 кВт, включая аккумуляторные батареи, которые должны заменяться на новые через каждые 7 лет эксплуатации. Экономические расчеты обоих вариантов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Анализ экономической целесообразности солнечной генерации в поселении Бир Гхнния: сравнение стоимости подключения к централизованной электросети и солнечной генерации, в долл. США

Table 1

Beer Ghnnia Project Feasibility Study; cost comparison between grid connection and onsite solar PV electricity (US\$)

Показатель	Подключение к централизованной электросети		Локальная солнечная генерация
	ЛЭП		Солнечные электростанции
Коэффициент нагрузки	83 %		
Ставка дисконтирования	7,5 %		
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (1,5 %) в общих инвестиционных затратах/лет	130 672		
Инвестиционные затраты	7 200 000	1 523 200	2 105 272
Стоимость замены аккумуляторных батарей каждые 7 лет			631 582
Сроки возведения	1 год		
Выплата в течение года	100 %		
Срок эксплуатации	25 лет		

Таблица 2

Сравнение динамики удельных затрат (долл. США)

Table 2

Dynamic unit cost (US\$) comparison between the two options

	Инвестиции	Расходы на эксплуатацию и обслуживание	Замена аккумуляторных батарей	Итого
Подключение к централизованной электросети	3,952	0,664	–	4,616
Локальная солнечная генерация	0,952	–	0,336	1,288
Экономия				~ 28 %

Как видно из таблиц, локальные солнечные установки имеют неоспоримые преимущества не только с точки зрения цены, но и надежности, поскольку сбой в централизованном электроснабжении случаются довольно часто, в отличие от всегда доступной солнечной энергии.

Электроснабжение в рассматриваемом населенном пункте осуществляется за счет дизельных генераторов, что на сегодняшний день уже не считается приемлемым вариантом в силу ряда проблем, одна из которых – поставка дизельного топлива на далекие расстояния. Даже один этот фактор говорит не в пользу использования в отдаленных районах дизельных генераторов по сравнению с солнечными установками, особенно в Северной Африке.

#### 4. Заключение

Краткий обзор вариантов энергоснабжения удаленных малых населенных пунктов, разбросанных по территории Ливийской пустыни, с целью повышения уровня и качества жизни их населения, позволяет сделать следующие выводы.

Огромного запаса солнечной энергии в Северной Африке более чем достаточно для покрытия мировых потребностей в электричестве без причинения вреда окружающей среде.

Солнечные установки имеют неоспоримые преимущества перед дизельными генераторами, а также перед централизованной электросетью при решении проблемы энергоснабжения отдаленных районов Ливии.

Сегодня как никогда назрела острая необходимость внедрения солнечных энергоустановок с целью снижения выбросов парниковых газов и других вредных веществ, образуемых при сжигании ископаемого топлива для производства электроэнергии.

#### References

- [1] Encyclopaedia Britannica, 15<sup>th</sup> Edition, Macropaedia Knowledge in Depth, 1980, vol. 10, pp. 875.
- [2] Maycock P.D., Stirewalt E.N. A Guide to the Photovoltaic Revolution; Sunlight to Electricity in One Step., Rodale Press, 1985, Emmaus, Pa, USA, pp. 98.
- [3] Eljrushi G.S. Ph.D. Thesis, Clean Energy Research Institute, University of Miami, Coral Gables, Florida, USA, 1987.
- [4] The Club of Rome, Clean Power from Deserts; The Desertec Concept for Energy, Water and Climate Security, White Paper, 2<sup>nd</sup> Edition, March, 2008, Hamburg, Germany, pp. 18.
- [5] Almdhon M., Almbrok A. Feasibility Study for the Project to Supply Electricity to Beer Ghnnia Region, Research and Studies Management, General Company.

