

УДК 620.92; 621.311.243

https://doi.org/10.33619/2414-2948/91/49

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

©**Кирюхин Я. А.**, ORCID: 0000-0002-0009-5391, SPIN-код: 9301-3551, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия, ykiruhin@gmail.com

©**Макеев А. Н.**, ORCID: 0000-0001-5356-2144, SPIN-код: 1466-7104, канд. техн. наук, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия, tggi@rambler.ru

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY IN RUSSIA

©**Kiryukhin Ya.**, ORCID: 0000-0002-0009-5391, SPIN-code: 9301-3551, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia, ykiruhin@gmail.com

©**Makeev A.**, ORCID: 0000-0001-5356-2144, SPIN-code: 1466-7104, Ph.D., National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia, tggi@rambler.ru

Аннотация. В настоящее время вопросу использования возобновляемых источников энергии уделяется большое внимание. Связано это с тем, что они могут стать решением возникающих проблем, обуславливающих глобальное изменение климата и истощение ископаемых природных ресурсов. Целью работы является анализ технических решений солнечных станций и вопрос их использования на территории России. Рассмотрены основные виды солнечных станций, особенности их эксплуатации, обозначены достоинства и недостатки различных систем. Установлено, что из всех видов возобновляемых источников энергии солнечная энергетика является самой быстроразвивающейся. Использование солнечной энергии идет по пути двух основных направлений: получение тепловой и электрической энергии. При этом солнечная электроэнергетика является наиболее активным и перспективным направлением многочисленных научных исследований в масштабе уже реализованных проектов. Установлено, что территория России обладает определенными географическими зонами с большим потенциалом развития солнечных электрических станций, которые позволят преобразовать падающее излучение непосредственно в электрическую энергию. Подтверждением данного факта являются уже реализованные уникальные проекты, которые располагаются в этих зонах.

Abstract. Currently, a lot of attention is paid to the issue of using renewable energy sources. This is primarily due to the fact that they can become a solution to emerging problems that cause global climate change and depletion of fossil natural resources. The purpose of the work is to analyze the technical solutions of solar power plants and the issue of their use in Russia. To solve this problem, various materials of domestic and foreign scientific articles on the subject of solar energy were systematized: the main types of solar power plants, the features of their operation were considered, the advantages and disadvantages of various systems were identified. It has been established that of all types of renewable energy sources, solar energy is the fastest growing. The use of solar energy follows the path of two main directions: the production of thermal and electrical energy. At the same time, the solar electric power industry is the most active and promising area of numerous scientific research on the scale of already implemented projects. It has been established that the territory of Russia has certain geographical zones with great potential for the development of solar power plants, which will allow converting incident radiation directly into electrical energy. This fact is confirmed by the already implemented unique projects that are located in these zones.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, фотоэлектрические преобразователи, солнечные системы.

Keywords: renewable energy, solar energy, photovoltaic converters, solar systems.

Из всех видов возобновляемых источников энергии солнечная энергетика является самой быстроразвивающейся. Данная отрасль отличается самыми высокими темпами роста, значительными инвестициями и программами развития со стороны различных государств. Энергия, излучаемая поверхностью Солнца, разогретой почти до 6000 К за счет реакций ядерного синтеза превращения водорода в гелий, составляет около $3,8 \times 10^{20}$ МВт. Из указанного значения только $1,87 \times 10^{14}$ кВт захватывается Землей. Тем не менее, такой объем падающего излучения при его полном использовании за полчаса способен закрыть годовую потребность человечества в энергии. И хотя большая часть энергии Солнца не достигает поверхности Земли из-за атмосферного поглощения, дифракции и рассеяния, развитие солнечной энергетики представляется как высокопотенциальный и долгосрочный вариант энергоснабжения [4].

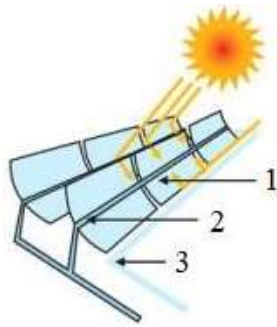
Использование энергии Солнца идет по пути ее преобразования в тепловую энергию и электрическую. В каждом из этих вариантов поглощение падающего излучения может происходить или непосредственно приемником, или через концентратор. Стоит также отметить, что солнечным электрическим станциям (СЭС) присущ распределенный характер, заключающийся в обеспечении потребителей теплом и электрической энергией вблизи их расположения без создания дорогой инфраструктуры по ее доставке и выработке.

Согласно многочисленным информационным источникам, установленная мощность фотоэлектрических технологий во всем мире с 2010 г по 2020 г увеличилась с 40334 МВт до 709674 МВт, в то время как установленная мощность тепловых солнечных станций увеличилась с 1266 МВт до 6479 МВт [2]. Таким образом, в настоящее время развитие фотоэлектрических станций является наиболее активным и является перспективным направлением исследований.

Использование солнечной энергии для получения тепла

Данный вид установок предназначен для утилизации теплоты, поступающей от Солнца, при помощи солнечных коллекторов. Это устройства, в которых идет поглощение падающего солнечного излучения специальными теплоприемными элементами с последующей передачей полученной тепловой энергии циркулирующему через них теплоносителю. В глобальных проектах солнечное излучение может быть сконцентрировано для получения более высоких температур нагреваемого теплоносителя, который может использоваться в дальнейшем для отопительных целей или даже для выработки электроэнергии. В настоящее время существуют многообразные виды СЭС, работающие по данному принципу, и различающиеся по своей конструкции.

Наиболее распространенной теплоэлектрической технологией является станция, использующая параболические зеркала (Рисунок 1) для концентрации излучения на приемной трубке — солнечном коллекторе, в котором находится теплоноситель в виде масла или воды. Рабочее тело затем вскипает и, полученный таким образом, пар вращает турбину для производства электроэнергии. Данная система обычно ориентирована по оси север-юг и в течение дня зеркала автоматически поворачиваются по направлению движения Солнца. В настоящее время эта технология наиболее развита и ее оптимальные мощности составляют 150-200 МВт [3].



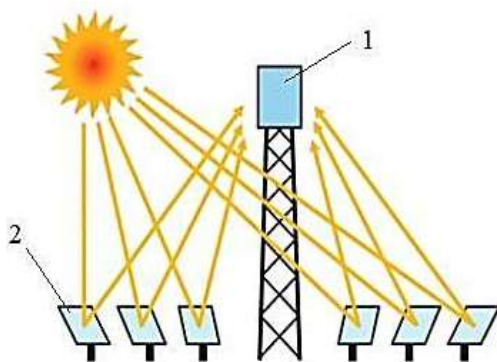
а



б

Рисунок 1. Схема СЭС с параболическими зеркалами [1]: а – схема установки; б – внешний вид системы; 1 – зеркало; 2 – трубка приемник; 3 – теплоноситель

Существуют башенные СЭС, которые состоят из гелиостатов, расположенных на земле, башни и приемника, расположенного на ее вершине (Рисунок 2). Гелиостаты могут вращаться с востока на запад и с севера на юг для слежения за Солнцем и необходимы для улавливания солнечного излучения и его перенаправления на приемник. Первая такая станция была построена в Испании в провинции Севилья в 2007 году и носит название «PS10» [3].



а

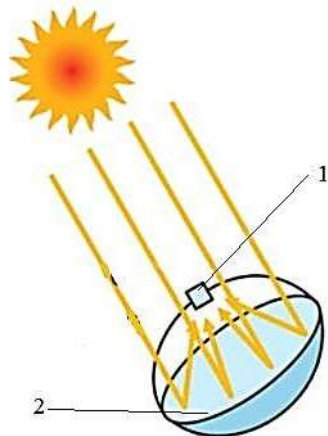


б

Рисунок 2 – Схема башенной СЭС [1]: а – схема установки; б – внешний вид системы; 1 – приемник; 2 – поле гелиостатов

Существуют СЭС, использующие двигатель Стирлинга, который располагается в фокусе параболического тарельчатого концентратора (Рисунок 3). В таких системах сконцентрированное солнечное излучение нагревает газовую камеру теплоприемника, соединенную с поршнем и приводным валом. В процессе работы двигателя приводной вал

приводит в действие генератор, который вырабатывает электрическую энергию для сети. Параболический тарельчатый концентратор обычно способен отслеживать положение Солнца для использования максимального потенциала падающего излучения. Такие системы характеризуются высокой тепловой и механической эффективностью, обладают длительным сроком эксплуатации и низкими затратами на техническое обслуживание. Особенно выгодно их использование в удаленных регионах, где отсутствует доступ к централизованной системе энергоснабжения [5].



а



б

Рисунок 3. Схема СЭС с двигателем Стирлинга [1]: а – схема установки; б – внешний вид; 1 – приемник (двигатель Стирлинга); 2 – параболический тарельчатый концентратор

Использование солнечной энергии для получения электрической энергии

Второй вид солнечных установок преобразует электромагнитное излучение непосредственно в электрическую энергию с помощью различных фотоэлементов. Улавливаемый световой поток становится источником постоянного тока за счет фотоэффекта в солнечных элементах, который затем с помощью инвертора преобразуется в переменный ток с параметрами, характерными для рассматриваемой электрической сети или нагрузки [3].

Для успешной работы такой солнечной электрической станции необходим достаточный приток энергии, поступающей от Солнца. Этот поток электромагнитного излучения, в зависимости от широты, определяется углом наклона солнечных лучей и увеличивается к экватору. Например, если сравнить годовой поток солнечной энергии на единицу площади в экваториальном (более 2000 кВт/м²) и арктическом поясах (около 500 кВт/м²), получим четырехкратное различие. Еще один важный аспект — сезонные отличия в поступлениях солнечной энергии: в экваториальном и субэкваториальных поясах сезонные колебания составляет менее 20%; на широтах от 40-50° отличие в потоках излучения зимой и летом наблюдается в 6-8 раз; на широте 60° — приблизительно в 15 раз. Следует отметить, что в сезон лета приток солнечной энергии в умеренном и субарктическом поясах не уступают экваториальному и тропическому, но в зимнее время — практически отсутствует. Фактически, количество доступной солнечной энергии может отклоняться в связи с локальными климатическими факторами, но в целом широта будет являться определяющим фактором [6].

Результаты и обсуждение

Основываясь на схеме рисунка 4, представленной в работе [6], можно сделать вывод о том, что солнечную энергетику целесообразнее всего развивать в Центрально-южном степном поясе и Южном горном поясе. Особенно следует сфокусировать внимание на Южной области (Кавказ, Предкавказье, Крым), Алтайской области (горы и предгорья Алтая), Приморско-Сахалинской области (Приморский край, юг Хабаровского края, Сахалин) (Рисунок 4).



Рисунок 4. Схема районирования территории России с точки зрения предпосылок развития возобновляемой энергетики [8]: 1 – повышенный потенциал гидроэнергии, ветровой и приливной энергии; 2 – повышенный потенциал солнечной, ветровой, гидро-, геотермальной и биоэнергии; 3 – повышенный потенциал солнечной, ветровой и биоэнергии; 4.1 – повышенный потенциал геотермальной, приливной, гидро- и ветровой энергии; 4.2 – повышенный потенциал солнечной, ветровой, приливной и биоэнергии

Анализируя локацию построенных СЭС, можно заключить, что основная часть станций построена на юге европейской части России, Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока в зонах 2, 3 и 4.2. При этом, большинство реализованных крупных проектов принадлежит компании «Хевел» (<https://www.hevelsolar.com>). В настоящее время завод «Хевел» является крупнейшим производителем продукции в области солнечной энергетики и ежегодно выпускает более 340 МВт солнечных модулей и ячеек. Данной компанией было реализовано более 100 проектов общей мощностью более 1 ГВт.

Среди наиболее интересных проектов следует отметить: Кош-Агачинскую солнечную электростанцию, которая была введена в эксплуатацию в 2015 году и характеризуется мощностью около 5 МВт; самую крупную СЭС компании «Хевел», которая расположена в Оренбурге, обладает мощностью 30 МВт и занимает площадь 80 га; Фунтовскую солнечную электростанцию в Астраханской области, которая была введена в эксплуатацию в конце 2018 года и в настоящее время является крупнейшей в России, — после пуска второй очереди ее суммарная мощность достигла 75 МВт. На данной электростанции установлено более 200 тысяч солнечных модулей с КПД более 22%. Усть-Косинскую солнечную электростанцию на 40 МВт, вторую по мощности солнечную электростанцию в Сибири, которая была введена в

эксплуатацию в конце 2019 года, обладает особенными высокоэффективными солнечными модулями, позволяющими снизить стоимость суммарных затрат, а также повысить КПД станции.

Интересный проект компании «Хевел» был воплощен компанией в декабре 2019 года. Это Нижнебурейская СЭС с плавучими фотоэлектрическими модулями на территории бассейна ГЭС. Интеграция работы СЭС с ГЭС — первый подобный опыт для России. Данное решение позволяет обеспечить собственные нужды станции и, тем самым, увеличить полезный отпуск электроэнергии в сеть. Особенность конструкции применяемых понтонных модулей СЭС заключается в коротких сроках ее монтажа. Такая СЭС может быть демонтирована практически в любое время, а также перемещена в любую другую точку. Сообщается, что в проекте использовано 140 фотоэлектрических модулей, смонтированных в 10 рядах по 14 модулей в каждом, с площадью плавучей СЭС — 474 м².

Список литературы:

1. Farzaneh A. et al. Aluminium alloys in solar power - Benefits and Limitations. 2013.
2. Maka A. O. M., Alabid J. M. Solar energy technology and its roles in sustainable development // *Clean Energy*. 2022. V. 6. №3. P. 476-483. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>
3. Sharma, Subhash & Dubey, Dr. (2023). Role of Green Energy in Modern Era. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11, 175-187. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.48903>
4. Kumar V., Shrivastava R. L., Untawale S. P. Solar energy: review of potential green & clean energy for coastal and offshore applications // *Aquatic Procedia*. 2015. V. 4. P. 473-480. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.062>
5. Tian Y., Zhao C. Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications // *Applied energy*. 2013. V. 104. P. 538-553. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051>
6. Дегтярев К. С. Географические основы возобновляемой энергетики // *Окружающая среда и энерговедение*. 2021. №3. С. 25-42.
7. Дегтярев К., Соловьев Д. Проблемы и перспективы развития возобновляемой энергетики России в новых условиях // *Энергетическая политика*. 2022. №6 (172). С. 55-69.

References:

1. Farzaneh, A., Mohammadi, M., Ahmad, Z., & Ahmad, I. (2013). Aluminium alloys in solar power - Benefits and Limitations.
2. Maka, A. O., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476-483. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>
3. Sharma S., Dubey D. Role of Green Energy in Modern Era // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023. (11). С. 175–187.
4. Kumar, V., Shrivastava, R. L., & Untawale, S. P. (2015). Solar energy: review of potential green & clean energy for coastal and offshore applications. *Aquatic Procedia*, 4, 473-480. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.062>
5. Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied energy*, 104, 538-553. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051>
6. Degtyarev, K. S. (2021). Geograficheskie osnovy vozobnovlyaemoi energetiki. *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie*, (3), 25-42. (in Russian).

7. Degtyarev, K., & Solov'ev, D. (2022). Problemy i perspektivy razvitiya vozobnovlyaemoi energetiki Rossii v novykh usloviyakh. *Energeticheskaya politika*, (6 (172)), 55-69. (in Russian).

Работа поступила
в редакцию 16.05.2023 г.

Принята к публикации
22.05.2023 г.

Ссылка для цитирования:

Кiryukhin Я. А., Makeev А. Н. Перспективы развития солнечной энергетики в России // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №6. С. 415-421. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/91/49>

Cite as (APA):

Kiryukhin, Ya., & Makeev, A. (2023). Prospects for the Development of Solar Energy in Russia. *Bulletin of Science and Practice*, 9(6), 415-421. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/91/49>