



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2220-6469-2025-19-1-27-36
УДК 339.942(045)
JEL F21

Повышение эффективности использования солнечной электроэнергии

В.А. Победушкина

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность темы исследования обусловлена стремительным развитием солнечной энергетики и поиском возможностей увеличения ее эффективности с целью обеспечения более стабильного энергоснабжения населения и повышения качества жизни. **Цель:** выявление ключевых особенностей мирового опыта использования солнечных трекеров в электрогенерации. **Методы исследования:** математические; анализ эмпирических данных, систематизация, инвестиционный анализ. **Результаты:** в работе рассмотрены различные солнечные панели и их влияние на экономическую эффективность проектов солнечной энергетики; проведен обзор релевантной литературы и научно-практических исследований, доказывающих универсальность применения солнечных трекеров в различных географических и климатических зонах; произведен расчет основных показателей инвестиционной привлекательности проекта с использованием солнечных трекеров и стационарных систем, подтверждающий низкую эффективность последних; выявлены основные направления развития рассматриваемой технологии и даны рекомендации по ее совершенствованию. **Практическая значимость:** основные выводы данной работы могут быть полезны для обоснования целесообразности применения трекеров на солнечных электростанциях и поиска путей повышения эффективности солнечной генерации.

Ключевые слова: мировая экономика; возобновляемые источники энергии; прогнозная аналитика; солнечные трекеры; инвестиционный анализ; международное сотрудничество

Для цитирования: Победушкина В.А. Повышение эффективности использования солнечной электроэнергии. *Мир новой экономики*. 2025;19(1):27-36. DOI: 10.26794/2220-6469-2025-19-1-27-36

ORIGINAL PAPER

Increasing the Efficiency of Solar Electric Power Utilization

V.A. Pobedushkina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT

The relevance of the study is driven by the rapid development of solar energy and the search for opportunities to increase its efficiency in order to ensure a more stable energy supply for the population and improve the quality of life. **The objective:** to identify the key features of the global experience in using solar trackers for power generation. **Research methods:** mathematical analysis, empirical data analysis, systematization, investment analysis. **Findings:** this study examines various types of solar panels and their impact on the economic efficiency of solar energy projects. A review of relevant literature and scientific-practical studies confirms the versatility of solar trackers in different geographical and climatic zones. The study includes calculations of key investment attractiveness indicators for projects utilizing solar trackers and stationary systems, demonstrating the low efficiency of the latter. Key directions for the development of this technology have been identified, and recommendations for its improvement are provided. **Practical significance:** the main conclusion of this study may be useful for justifying the feasibility of using trackers at solar power plants and for exploring ways to improve the efficiency of solar generation.

Keywords: global economy; renewable energy sources; predictive analytics; solar trackers; investment analysis; international cooperation

For citation: Pobedushkina V.A. Increasing the efficiency of solar electric power utilization. *The World of the New Economy*. 2025;19(1):27-36. DOI: 10.26794/2220-6469-2025-19-1-27-36

© Победушкина В.А., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной экономики требует значительного энергетического потребления, что обуславливает поиск возможностей обеспечения энергии за счет как традиционных, так и возобновляемых (ВИЭ) источников. На данный момент самым быстрорастущим видом ВИЭ является солнечная энергетика, доля которой в мировом производстве, по состоянию на 2023 г., превысила 5,5%¹. Российская Федерация видит развитие возобновляемых источников энергии в качестве одной из приоритетных энергетических задач, что делает важным исследование данного вопроса с учетом страновых особенностей и возможности применения мирового опыта. В настоящее время в России действует программа поддержки ВИЭ на период 2025–2035 гг., согласно которой планируется дополнительный ввод 3,5 ГВт солнечных электростанций (СЭС) к 2035 г.², что усиливает актуальность исследования данной тематики.

Стремительное развитие солнечной энергетики было бы невозможно без постоянных технологических новшеств, внедряемых в отрасль, одно из которых — системы с отслеживанием или солнечные трекеры. До 2008 г. все СЭС были оборудованы лишь статичными модулями, выставленными под определенным углом и не имеющими возможность менять свое положение в зависимости от местонахождения солнца. Основным правилом установки таких панелей является направленность их наклона к экватору: в северном полушарии — к югу, а в южном — к северу. Это обстоятельство приводило к существенным потерям, так как имела место зависимость от погоды, времени года и прочих факторов [1]. Кроме того, поскольку пик выработки энергии приходился на середину дня, существенные колебания ее рыночной стоимости наблюдались на всем его протяжении. Однако преимуществом подобных панелей является возможность установления большей пиковой мощности, что повышает суммарную выработку на площади. Кроме того, с учетом затенения между рядами, можно сократить расстояние между ними, увеличив количество панелей.

Первые попытки преодолеть проблему потерь выработки энергии в зависимости от движения солнца предпринимались еще в 1980-х гг., когда были разработаны первые солнечные панели, рабо-

тающие по принципу «восток-запад» (по направлению). Такая схема дает возможность устанавливать модули очень близко, минимизируя пространство между рядами и максимизируя выработку на участках с ограниченным пространством (что характерно, например, для Северной Европы). Кроме того, в северных широтах солнце поднимается невысоко, что позволяет размещать панели ближе к строениям (не затеняя их), а также — к земле, снижая нагрузку от ветра. В отличие от обычных, модули «восток-запад» обеспечивают гораздо большую стабильность при производстве энергии в течение дня, что существенно снижает вероятность инверторных перегрузок в полдень.

В 2008 г. стали активно использоваться фотоэлектрические панели, способные вращаться весь день для отслеживания движения солнца по небосводу и максимизации выработки энергии. Однако увеличение количества солнечных панелей приведет не только к экономической эффективности СЭС, но и к образованию длинных рядов трекеров, не подходящих для участков с ограниченным пространством. Кроме того, там, где низкий угол наклона панели, некоторые преимущества систем отслеживания теряются из-за алгоритмов обратного хода³.

Проблему улучшения экономической отдачи проектов солнечной энергетики за последние несколько лет рассматривали многие российские ученые [2–4], в том числе анализируя проблемы отдельных регионов и возможность увеличения генерации в различных субъектах страны [5–7]. Также говорится о необходимости внедрения солнечных трекеров для улучшения экономической стабильности страны [8–10]. Техничко-экономические аспекты данного вопроса в основном исследуются зарубежными авторами [11–13]. Несмотря на неоднозначное отношение к солнечным трекерам, следует отметить, что важнейшим экономическим эффектом их внедрения (вследствие резкого увеличения эффективности работы панели) является существенное снижение стоимости электроэнергии — так происходит сокращение эксплуатационных расходов и появляется возможность реинвестировать высвобожденные средства в модернизацию объектов по ее производству. По этой причине рассматриваемая технология требует более детального изучения.

¹ URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>

² URL: <https://rspp.ru/document/1/2/5/2502ae1262d70e4e020677e29ad60c23.pdf>

³ URL: <https://www.woodmac.com/reports/power-markets-global-solar-pv-tracker-landscape-2023-150186928/>

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКЕРОВ ПО LCOE

Для определения данного экономического эффекта необходимо сравнить стоимость электроэнергии, генерируемой СЭС, использующими и не использующими солнечные трекеры. Наиболее подходящим показателем для сравнения является LCOE (levelized cost of energy) — нормированная (выровненная) стоимость электроэнергии на период жизни генерирующего актива (как правило, измеряется в долл. США / кВт·ч). Он гораздо более точен, чем расчет стоимости на 1 Вт, так как учитывает множество различных факторов, особенно значимых для конкретной отрасли. В разрезе солнечной энергетики расчет нормированной стоимости электроэнергии учитывает такие факторы, как стоимость панели, ее производительность, системные затраты, расходы на обслуживание. В связи с этим анализ LCOE наилучшим образом подходит как для изучения динамики стоимости электроэнергии в целом,

так и для ее сравнения в разбивке по различным энергоресурсам.

Поскольку стационарные солнечные панели стали использоваться гораздо раньше, чем трекеры, география их распространения более широкая, несмотря на отмеченную завышенную нормированную стоимость получаемой электроэнергии из-за меньшей эффективности работы и больших потерь. В 2023 г. нормированная стоимость электроэнергии для систем без отслеживания варьировалась от 28,88 (Чили) до 71,8 (Южная Корея) долл. США/МВт·ч. Среди лидеров по LCOE в разрезе стационарных солнечных панелей также находятся Турция, ОАЭ, Испания. Стоит отметить, что, несмотря на достаточно высокий показатель LCOE в 2022–2023 гг., согласно прогнозам Bloomberg, на протяжении 2024–2027 гг. ожидается его существенное снижение, что позволит достичь экономически эффективных (по сравнению с другими источниками энергии) значений (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Прогноз LCOE для солнечных панелей без отслеживания (долл. США/МВт·ч) / Forecasted LCOE for Solar Panels Without Tracking (USD/MWh)

Страна / Год	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Аргентина	74,06	50,69	40,48	34,58	31,80	29,71
Великобритания	54,48	51,90	49,15	47,12	45,00	43,39
Германия	48,05	45,16	42,74	41,19	39,41	38,06
Индия	36,42	35,28	33,85	32,47	30,78	29,22
Индонезия	78,51	62,74	54,13	48,61	45,39	42,79
Испания	37,40	34,65	32,62	31,31	29,85	28,74
Китай	37,28	35,26	33,49	31,91	30,79	29,76
ОАЭ	38,33	33,25	30,06	28,06	26,50	25,32
США	47,66	42,20	39,97	35,56	34,53	33,13
Турция	34,59	33,28	31,20	29,59	28,61	28,12
Филиппины	83,87	66,90	57,48	51,45	48,06	45,32
Франция	39,31	36,93	34,96	33,70	32,25	31,14
Чили	32,40	28,88	26,53	24,99	23,76	22,83
ЮАР	48,51	39,43	34,79	32,06	29,79	28,13
Южная Корея	82,37	71,80	64,62	60,20	56,79	54,17

Источник / Source: составлено автором на основе прогнозов BloombergNEF / compiled by the author based on BloombergNEF forecasts:
URL: <https://about.bnef.com/blog/2h-2023-lcoe-update-an-uneven-recovery/>

Так, достижение наибольшей эффективности по снижению затрат для солнечных панелей без отслеживания за рассматриваемый период прогнозируется для таких стран, как Аргентина (–59,88%), Филиппины (–45,96%) и Индонезия (–45,5%). Вместе с тем именно Аргентина станет лидером изменений и в абсолютном выражении при исполнении текущего прогноза и снижении нормированных затрат с 74,06 до 29,71 долл. США / МВт·ч за 5 лет (–44,34 долл. США / МВт·ч). Для всех стран, использующих солнечные панели без отслеживания, LCOE снизится в среднем на 32,9%. Несмотря на то что анализируемые данные представляют собой прогнозный сценарий развития, динамика последних трех лет и усиливающаяся поддержка со стороны государства увеличивают вероятность его реализации.

Нормированная стоимость электроэнергии для солнечных панелей с отслеживанием в среднем ниже, чем у панелей без отслеживания, но география их использования значительно менее обширная. По состоянию на конец 2023 г., значения LCOE варьировались от 26,3 (Чили) до 44,56 (Колумбия) долл. США / МВт·ч. Лидерами по снижению нормированных затрат также являются Испания, Турция и Мексика. Аналогично динамике LCOE для солнечных панелей без отслеживания, для трекеров, согласно прогнозам Bloomberg, во всех странах в течение 2024–2027 гг. также характерно стабильное снижение нормированной стоимости электроэнергии (табл. 2).

Наибольшее падение LCOE для солнечных трекеров прогнозируется для Бразилии (–45,46%), Австралии (–43,84%) и ЮАР (–41,92%). При этом в абсолютных значениях в случае исполнения прогноза наилучший результат будет у Колумбии (–21,62 долл. США / МВт·ч), Чили же с большой долей вероятности сохранит свою позицию, как имеющая наименьшую LCOE во всем перечне. В среднем по всем странам данный показатель снизится на 35,1%. Таким образом, нормированная стоимость электроэнергии для систем с отслеживанием ниже как по состоянию на 2023 г., так и в прогнозном периоде до 2027 г. Текущая государственная политика рассматриваемых стран и динамика 2022–2023 гг. позволяют сделать вывод о высокой вероятности достижения прогнозируемых значений. Особенно важно заметить, что существенная разница в LCOE между стационарными панелями и трекерами характерна и в рамках одной страны. Так, в США LCOE за 2023 г. для первых составила 42,2 долл. США / МВт·ч, а для вторых — 38,38 долл. США / МВт·ч, т.е. на 9% меньше. Данный факт подтверждает экономическую эффективность использования солнечных трекеров для энергосистемы страны.

В то же время важным аспектом являются географические, климатические, законодательные и другие особенности. Для анализа нормированной стоимости были выбраны лишь основные страны, занятые в генерации электроэнергии с помощью СЭС. В некоторых государствах в открытом доступе нет информации по энергетическим затратам, или они

Таблица 2 / Table 2

Прогноз LCOE для солнечных панелей с отслеживанием (долл. США/МВт·ч) / Forecasted LCOE for Solar Panels With Tracking (USD/MWh)

Страна / Год	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Австралия	47,68	38,51	33,65	30,68	28,47	26,78
Бразилия	47,57	37,88	32,74	29,64	27,51	25,94
Испания	32,56	30,07	28,26	27,09	25,79	24,80
Колумбия	53,91	44,56	39,46	36,18	33,77	31,93
Мексика	37,58	31,38	27,94	25,76	24,12	22,89
США	42,45	38,38	35,52	31,83	30,94	29,76
Турция	32,14	31,01	29,07	27,56	26,66	26,21
Чили	30,30	26,30	23,81	22,20	21,12	20,30
ЮАР	41,98	34,13	30,11	27,74	25,81	24,38

Источник / Source: составлено автором на основе прогнозов BloombergNEF / compiled by the author based on BloombergNEF forecasts:
URL: <https://about.bnef.com/blog/2h-2023-lcoe-update-an-uneven-recovery/>

существенно отличаются в зависимости от региона. Для анализа мирового опыта использования солнечных панелей с системами отслеживания и без них рассмотрим две страны из разных географических регионов — Азии и Африки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКЕРОВ В ЮЖНОЙ КОРЕЕ

Среди стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) для анализа была выбрана Южная Корея, активно развивающая солнечную энергетику. Ратифицировав Парижское соглашение в 2016 г. и установив норму ВИЭ в 40% от общего производства энергии в государственном секторе, страна столкнулась с рядом проблем по дальнейшему наращиванию суммарной мощности электрогенерации. Начиная с 2014 г. Южная Корея проводила политику поддержки развития ВИЭ, что привело к стремительному наращиванию мощностей. При этом основной стала именно солнечная энергетика (рис. 1).

За десятилетний период (2013–2023 гг.) совокупная установленная мощность СЭС увеличилась

более чем в 20 раз, в то время как остальные виды ВИЭ остались примерно на том же уровне. Это позволяет сделать вывод о приоритетном значении солнечной энергетики для экономики Южной Кореи. Большое влияние на такой стремительный рост оказала государственная поддержка, благодаря которой правительством было профинансировано до 80% стоимости установки. Однако это касается только стационарных фотоэлектрических панелей. Солнечные трекеры используются в стране крайне редко из-за высокой первоначальной стоимости инвестиций и недостаточной изученности данной технологии. Кроме того, стационарная система считается более надежной с точки зрения ее обслуживания.

Для преодоления описанных недостатков необходим постоянный анализ затрат с улучшенной скоростью генерации от солнечных трекеров. Подобные исследования уже были проведены в 2011 и 2017 гг. Ранее утверждалось, что стоимость системы с отслеживанием может быть такой же, как и у обычной [14]. Предлагаемая система солнечных панелей была небольшой, поэтому ее можно было

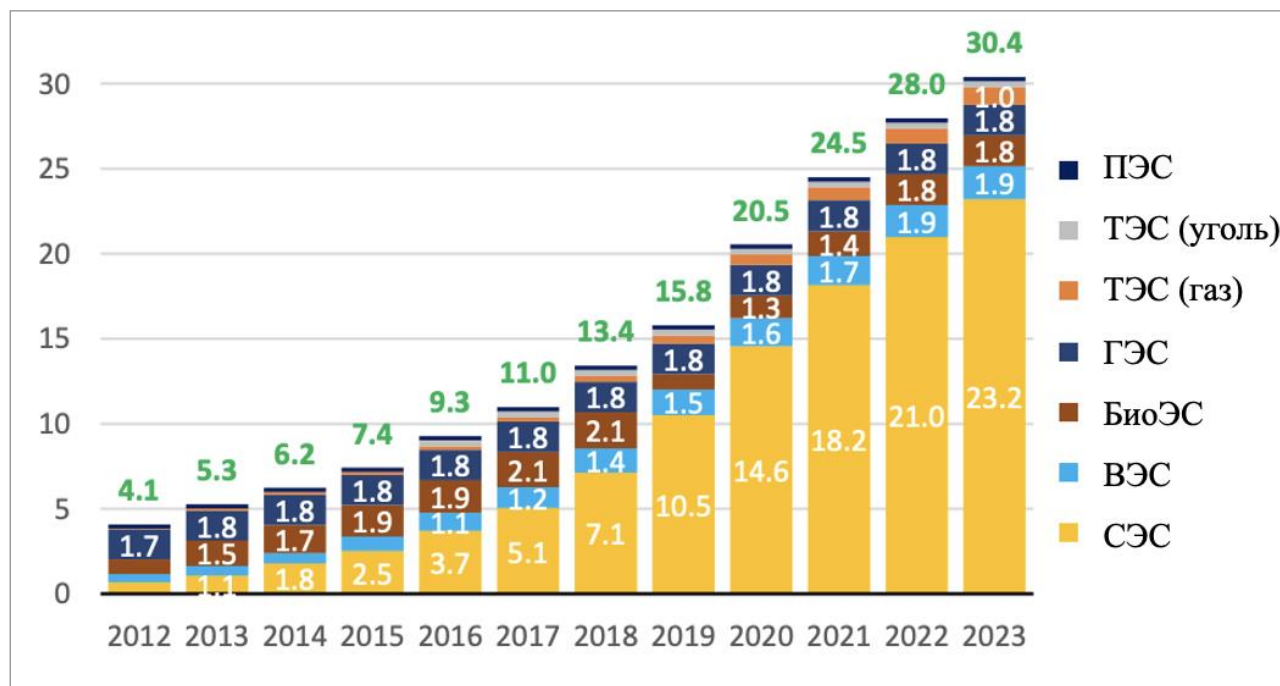


Рис. 1 / Fig. 1. Динамика совокупной установленной мощности ВИЭ в Южной Корее, ГВт / Dynamics of the Total Installed Capacity of Renewable Energy in South Korea, GW

Источник / Source: составлено автором на основе / compiled by the author on the basis of: URL: https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/REI_SKoreaReport_202311_EN.pdf

монтировать на стенах, что позволяло уменьшить необходимую территорию и снизить первоначальные инвестиции в проект. В более позднем исследовании фотоэлектрические панели оценивались с экономической точки зрения путем сравнения инвестиционных показателей проектов. Согласно полученным результатам, в зависимости от времени года и географических условий использование солнечных трекеров может способствовать выработке энергии на 10–100% больше по сравнению со стационарными панелями [15]. Более того, экономический анализ подтверждает превосходство систем слежения с точки зрения стоимости и воздействия на окружающую среду (рис. 2).

Таким образом, можно заключить, что производственные мощности солнечных трекеров значительно выше, чем у стационарной системы под наиболее используемыми углами наклона (30–60°), что подтверждает актуальность данной технологии для Южной Кореи.

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ ГАНА

Теперь рассмотрим Республику Гана — это один из крупнейших потребителей электроэнергии на душу населения в странах Африки к югу от Сахары. В отличие от соседних стран, Гана смогла обеспечить доступ к электричеству почти для 80% населения, что является лучшим показателем в Западной Африке. Это произошло из-за инициативы правительства начать развитие ВИЭ, однако необходимо отметить, что доступ к электричеству не означает обеспечение стабильного и устойчивого энергоснабжения. Солнечная энергия, имеющая тренд на постоянное снижение затрат — отличное решение указанной проблемы. В 2023 г. Африканский фонд развития (АФР) предоставил Гане грант в размере 27,39 млн долл. США для развития мини-сетей возобновляемой энергии, в частности — солнечной. Таким образом, Гана устанавливает 35 фотоэлектрических систем в 400 шко-

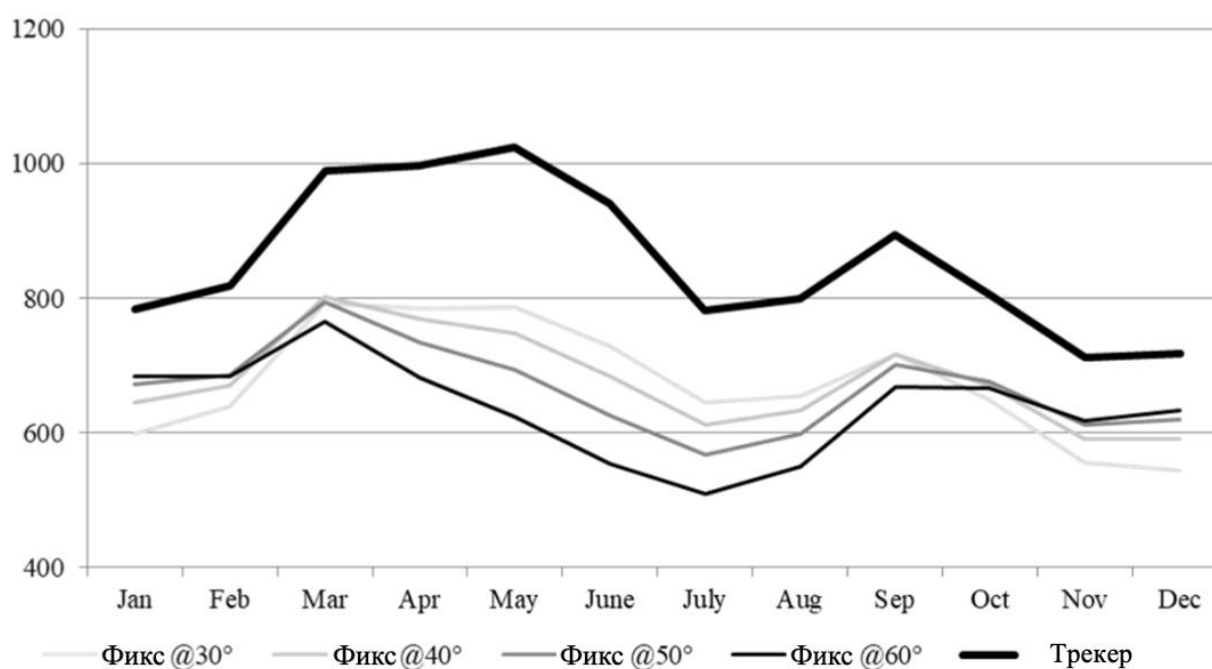


Рис. 2 / Fig. 2. Производство электроэнергии системами отслеживания и фиксированными фотоэлектрическими панелями в Южной Кореи по месяцам, кВт, 2023 г. / Electricity Production by Tracking Systems and Fixed Photovoltaic Panels in South Korea by Month, kW, 2023

Источник / Source: составлено автором на основе / compiled by the author on the basis of: URL: <https://doi.org/10.3390/en16217338>

лах, 200 — в медицинских учреждениях и 100 — в рамках жилищно-коммунального обслуживания. Кроме того, государственные учреждения, малый и средний бизнес, а также отдельные домохозяйства смогут разместить на крышах 12 тыс. таких систем, а планируемые установленные мощности превысят 67 МВт.

Несмотря на поддержку со стороны АФР и направленности энергетической политики Ганы на обеспечение роста рынка солнечной энергии, этот сектор по-прежнему испытывает трудности: требуется техническое оборудование, знания и навыки, которых в стране пока недостаточно. Многим инициативам также не хватает финансирования из-за высокой стоимости долгосрочных решений. Большое количество фотоэлектрических продуктов запатентованы, процентные ставки высоки, а потребителям не хватает средств для инвестиций в свои собственные системы. После установки панелей дополнительно возникают затраты на эксплуатацию и обслуживание, и, хотя государство поддерживает переход к возобновляемым источникам энергии, в некоторых областях по-прежнему отсутствуют законы и правила. Все эти препятствия известны правительству, которое пытается устранить их, в том числе путем обмена опытом и внедрения новейших технологий.

Частично решить обозначенные проблемы может внедрение солнечных панелей с системами отслеживания. Для оценки их результативности необходимо сравнить инвестиционные показатели одного и того же проекта при использовании обеих систем. Согласно данным McKinsey, традиционные солнечные трекеры обычно были одноосевыми,

горизонтальными или вертикальными. Однако все большее распространение получают двухосевые трекеры, которые могут перемещаться как по горизонтали, так и по вертикали, а также — многорядные, способные размещать несколько рядов солнечных панелей. Такие системы позволяют увеличить улавливание солнечной энергии в течение дня, максимизируя ее выход.

Чтобы скорректировать ориентацию трекеров, в них были внедрены сложные алгоритмы, учитывающие различные факторы: положение солнца, погодные условия, затенение и пр. Для анализа проекта солнечной электростанции Ганы рассматривался вариант с введением как одноосевых, так и двухосевых трекеров. Для этого была выбрана крупнейшая СЭС, находящаяся в Верхнем Западном регионе страны, а показателями для сравнения стали срок окупаемости, чистая приведенная стоимость, соотношение выгод и затрат, сокращение выбросов парниковых газов, стоимость производства энергии.

Общая первоначальная цена всех трех проектов составила 43 120 000 долл. США при капитальных затратах в размере 1500 долл. США / кВт·ч на фотоэлектрические модули и эксплуатацию и техническое обслуживание стоимостью 40 долл. США / год для всех трех сценариев [16]. В табл. 3 представлены результаты, полученные путем экономического анализа каждого из сценариев.

На основании приведенных в таблице расчетов можно сделать вывод об абсолютных преимуществах панелей с солнечными трекерами перед стационарными. Различия по годам объясняются разницей в интенсивности солнечного излучения,

Таблица 3 / Table 3

Инвестиционные показатели деятельности СЭС при использовании стационарных панелей и солнечных трекеров / Investment Performance Indicators of Solar Power Plants Using Fixed Panels and Solar Trackers

Тип трекера / показатель	Срок окупаемости, лет	ЧПВ, млн долл. США	Выбросы ПГ, т/год	Выгоды/затраты	Стоимость производства энергии, долл. США / кВт*ч
Стационарные	17,1	–9,857	7127	0,24	0,151
Одноосевые трекеры	13,4	–4,564	8093	0,65	0,133
Двухосевые трекеры	11,6	–3,660	22 762	0,72	0,13

Источник / Source: составлено автором на основе: / compiled by the author on the basis of: URL: <https://www.vra.com/media/2020/pdd/35MW%20Solar%20Power%20Project%20-%20Upper%20West%20Regional%20Sites%20-%20Stakeholder%20Engagement%20Plan.pdf>

данные о котором получены с помощью системы слежения. Особое значение имеет сниженная стоимость производства электроэнергии, которая позволит уменьшить розничную цену на электричество для населения, а также снижение выбросов парниковых газов, что обеспечит Гане достижение целей в области устойчивого развития.

ВЫВОДЫ

Несмотря на то что солнечная энергетика является самым быстроразвивающимся источником возобновляемой энергии, для дальнейшего ее распространения необходимо решение ряда проблем. Одной из них является ограниченность выработки электроэнергии, причиной чему служит сильная зависимость от времени суток и положения солнечной панели. Во многом это препятствие может быть преодолено за счет внедрения в СЭС панелей с отслеживанием или трекеров.

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ показателей эффективности, который продемонстрировал значительно меньшую нормированную стоимость затрат при производстве электроэнергии с помощью солнечных трекеров в абсолютном большинстве рассматриваемых стран. Следствием этого является снижение стоимости электроэнергии для населения, что способствует улучшению уровня жизни граждан и улучшению инфраструктуры.

В качестве подтверждения экономической целесообразности внедрения солнечных трекеров, несмотря на высокие первоначальные инвестиции, в работе проанализирован мировой опыт внедрения данной технологии в Южной Корее и Республике Гана.

Южная Корея испытывает серьезные проблемы, связанные с увеличением выработки, невзирая на государственную поддержку программ по развитию солнечной энергетики. Стационарные панели, преимущественно используемые на СЭС, не могут обеспечить стабильную и постоянную выработку

электроэнергии. Учитывая ограниченные территориальные ресурсы страны, следует отметить, что солнечные трекеры являются необходимой технологией для дальнейшего развития солнечной энергетики, особенно с учетом дождливого летнего сезона.

Схожая ситуация наблюдается и в Республике Гана. Несмотря на существенные различия в географическом положении и климате, она также нуждается в развитии технологий электрогенерации в целях удешевления стоимости энергии для населения и снабжения электричеством всей территории.

На реальном примере рассмотрены три сценария инвестиций в СЭС: при наличии стационарных панелей, а также одноосевых и двухосевых трекеров. На основании расчета чистой приведенной стоимости, периода окупаемости, затрат на производство энергии и экономического результата от проекта выявлено, что стационарные системы — самые экономически нецелесообразные, поэтому выгоднее применять солнечные трекеры. Рассмотрение мирового опыта в различных географических и климатических зонах делает универсальной рекомендацию по внедрению систем отслеживания в большинстве стран мира.

Важнейшим элементом подобного перехода является международное сотрудничество. Работа в рамках совместных проектов, международных организаций, выставок и конференций, а также межправительственные встречи, направленные на обмен опытом, станут основным драйвером дальнейшего развития солнечной энергетики в ближайшей перспективе. Благодаря международному сотрудничеству уже были разработаны и частично введены в эксплуатацию усовершенствованные солнечные системы с отслеживанием, требующие меньших затрат на установку и обслуживание. Подтверждением актуальности широкого внедрения трекеров служит всесторонняя работа крупнейших организаций в области ВИЭ над совершенствованием данной технологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сологубов А. Ю. Высокоэффективные солнечные энергоустановки на базе сферического параллельного манипулятора. Дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург; 2023. 272 с.
2. Слиманоу М., Калинин В. Ф. Исследование передовых инноваций в области МРРТ для повышения эффективности систем солнечной энергетики. Мир науки без границ. Мат. XI Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием (Тамбов, 26 апреля 2024 г.). Тамбов: ТГТУ; 2024:37–39.
3. Кукушкина С. В. Оценка эффективности солнечной энергетики и способы ее повышения. Энергия-2018. 13-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Иваново, 03–05 апреля 2018 г.). В 6 т. Т. 3. Иваново: ИГЭУ им. В. И. Ленина; 2018:128.



4. Дедеева С.А., Галин М.С. Экономическая эффективность инвестирования в солнечную энергетику. *Вестник Национального института бизнеса*. 2021;(44):16–21.
5. Петрусев А.С. Эффективность солнечной энергетики в Республике Алтай. Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Тр. Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Новокузнецк, 13–15 июня 2018 г.). Том Ч. II. Новокузнецк: СибГИУ; 2018:360–364.
6. Муртазалиев А.А. Экономическая эффективность внедрения солнечной энергетики в Республике Дагестан. *Вестник МИРБИС*. 2024;(2)188–191. DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.2.22
7. Алексеева О.В., Шулико Е.В. К вопросу об оценке эффективности использования оборудования солнечной энергетики в Краснодарском крае. *Естественно-гуманитарные исследования*. 2022;(43):22–27.
8. Воротынцев Д.В., Ануфриев О.В., Теряев Р.Э., Стеценко К.П. Повышение эффективности работы солнечной панели при помощи солнечного трекера. Гуляев Г.Ю., ред. Современные проблемы управления и регулирования: теория, методология, практика. Сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. (Пенза, 23 января 2017 г.). Пенза: Наука и Просвещение; 2017:39–43.
9. Трофимова В.С., Осорова А.Д., Ходоев Ш.Н. Эксплуатация солнечных трекеров в условиях Республики Саха (Якутия). *Столыпинский вестник*. 2024;6(8):9.
10. Погуралова П.А., Бондарь В.Р., Ананьина Т.В. Анализ целесообразности установки солнечных трекеров для новосибирской области. *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2023;(2):140–144.
11. Filik T., Filik Ü.B. Efficiency analysis of the solar tracking PV systems in Eskişehir Region. *Anadolu University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering*. 2017;18(1):209–217. DOI: 10.18038/aubtda.267116
12. Jaszczur M., Teneta J., Hassan Q., Majewska E., Hanus R. An experimental and numerical investigation of photovoltaic module temperature under varying environmental conditions. *Heat Transfer Engineering*. 2021;42(3–4):354–367. DOI: 10.1080/01457632.2019.1699306
13. Venkateswari R., Sreejith S. Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;101:376–394. DOI: 10.1016/j.rser.2018.11.012
14. Huang B.J., Ding W.L., Huang Y.C. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Solar Energy*. 2011;85(9):1935–1944. DOI: 10.1016/j.solener.2011.05.001
15. Bahrami A., Okoye C.O., Atikol U. Technical and economic assessment of fixed, single and dual-axis tracking PV panels in low latitude countries. *Renewable Energy*. 2017;113:563–579. DOI: 10.1016/j.renene.2017.05.095
16. Agyekum E.B., Afornu B.K., Ansah M.S. Effect of solar tracking on the economic viability of a large-scale PV power plant. *Environmental and Climate Technologies*. 2020;24(3):55–65. DOI: 10.2478/rtuect-2020-0085

REFERENCES

1. Sologubov A. Yu. Highly efficient solar power plants based on a spherical parallel manipulator. Cand. tech. sci. diss. Ekaterinburg; 2023. 272 p. (In Russ.).
2. Slimanou M., Kalinin V.F. Research of advanced innovations in the field of MPPT to improve the efficiency of solar energy systems. In: The world of science without borders. Proc. 11th All-Russ. sci.-pract. conf. of young scientists with int. particip. (Tambov, April 26, 2024). Tambov: Tambov State Technical University; 2024:37–39. (In Russ.).
3. Kukushkina S.V. Assessment of the efficiency of solar energy and ways to increase it. In: Energy-2018. Proc. 13th Int. sci. and tech. conf. of students, postgraduates and young scientists (Ivanovo, April 03–05, 2018). In 6 vols. Vol. 3. Ivanovo: Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin; 2018:128. (In Russ.).
4. Dedeeva S.A., Galin M.S. Economic efficiency of investing in solar energy. *Vestnik Natsional'nogo instituta biznesa = Bulletin of the National Institute of Business*. 2021;(44):16–21. (In Russ.).
5. Petrusev A.S. Efficiency of solar energy in the Altai Republic. In: Science and youth: Problems, searches, solutions. Proc. All-Russ. sci. conf. of students, postgraduates and young scientists (Novokuznetsk, June 13–15, 2018). Vol. Pt. II. Novokuznetsk: Siberian State Industrial University; 2018:360–364. (In Russ.).
6. Murtazaliev A.A. economic efficiency of solar energy implementation in the Republic of Dagestan. *Vestnik MIRBIS = MIRBIS Research Journal*. 2024;(2)188–191. (In Russ.). DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.2.22
7. Alekseeva O.V., Shuliko E.V. On the issue of assessing the efficiency of using solar energy equipment in the Krasnodar territory. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya = Natural Humanitarian Studies*. 2022;(43):22–27. (In Russ.).

8. Vorotyntsev D.V., Anufriev O.V., Teryaev R.E., Stetsenko K.P. Improving the efficiency of a solar panel using a solar tracker. In: Gulyaev G. Yu., ed. Modern problems of management and regulation: Theory, methodology, practice. Proc. 2nd Int. sci.-pract. conf. (Penza, January 23, 2017). Penza: Nauka i Prosveshchenie; 2017:39–43. (In Russ.).
9. Trofimova V.S., Osorova A.D., Khodoev Sh.N. Operation of solar trackers in the Republic of Sakha (Yakutia). *Stolypinskii vestnik*. 2024;6(8):9. (In Russ.).
10. Poguralova P.A., Bondar V.R., Ananyina T.V. Analysis of the feasibility of installing solar trackers for the Novosibirsk region. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2023;(2):140–144. (In Russ.).
11. Filik T., Filik Ü.B. Efficiency analysis of the solar tracking PV systems in Eskişehir Region. *Anadolu University Journal of Science and Technology A — Applied Sciences and Engineering*. 2017;18(1):209–217. DOI: 10.18038/aubtda.267116
12. Jaszczur M., Teneta J., Hassan Q., Majewska E., Hanus R. An experimental and numerical investigation of photovoltaic module temperature under varying environmental conditions. *Heat Transfer Engineering*. 2021;42(3–4):354–367. DOI: 10.1080/01457632.2019.1699306
13. Venkateswari R., Sreejith S. Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;101:376–394. DOI: 10.1016/j.rser.2018.11.012
14. Huang B.J., Ding W.L., Huang Y.C. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Solar Energy*. 2011;85(9):1935–1944. DOI: 10.1016/j.solener.2011.05.001
15. Bahrami A., Okoye C.O., Atikol U. Technical and economic assessment of fixed, single and dual-axis tracking PV panels in low latitude countries. *Renewable Energy*. 2017;113:563–579. DOI: 10.1016/j.renene.2017.05.095
16. Agyekum E.B., Afornu B.K., Ansah M.S. Effect of solar tracking on the economic viability of a large-scale PV power plant. *Environmental and Climate Technologies*. 2020;24(3):55–65. DOI: 10.2478/rtuect-2020-0085

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / ABOUT THE AUTHOR



Виктория Александровна Победушкина — финансовый аналитик, международная консалтинговая компания Glosema Group, Москва, Россия

Victoria A. Pobedushkina — financial analyst at the international consulting company Glosema Group, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5959-1149>

vpobedushkina@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Statement: The author has no conflicts of interest to declare.

Статья поступила 05.10.2024; после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 17.11.2024.

Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи.

The article was received on 05.10.2024; revised on 28.10.2024 and accepted for publication on 17.11.2024.

The author read and approved the final version of the manuscript.