

РАЗВИТИЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В МИРЕ И В РОССИИ

С.И. БЕЛОВ, кандидат технических наук

(кафедра электроснабжения и теплоэнергетики,
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева)

А.А. КРОЛИН, кандидат экономических наук

(начальник отдела комплексных инновационных программ и проектов,
Национальный исследовательский университет – МЭИ)

Н.Ф. ДРИГА

(технический директор, ООО “СОЛАРПРОФИТ”, г. Краснодар)

Поступила в редакцию: 15.03.2026
Принята к публикации: 17.04.2026

Мировая климатическая повестка – один из побудительных мотивов и ключевой инструмент для современного преобразования энергетики – так называемого “энергетического перехода” – используется странами в политике контроля, регулирования и прогноза развития электроэнергетики в целях снижения выбросов парниковых газов в отдельных сегментах производства и потребления энергетических ресурсов.

Энергетические системы по всему миру претерпевают необратимые изменения благодаря развитию расположенных за счётчиком конечных потребителей источников распределённой генерации (Distributed Generation – DG) или распределённых энергетических ресурсов (Distributed Energy Resources – DER), которые обладают различными преимуществами по сравнению с традиционной системой централизованного энергоснабжения. К числу таких преимуществ, в зависимости от конкретных вариантов использования DER, можно отнести снижение затрат на покупку электроэнергии, улучшение показателей качества электроэнергии, повышение надёжности электроснабжения, возможность потребителям самостоятельно определять расходы на энергоресурсы и принимать решения для снижения этих затрат.



Постоянно растущие цены на производство электроэнергии из традиционных источников энергии и её транспортировку по протяжённым линиям электропередачи до шин конечного потребителя при централизованном энергоснабжении наряду со значительным снижением в последние годы стоимости установок ВИЭ, особенно технологии генерации, известной как распределённая фотоэлектрическая энергия (DPV), делают DER чрезвычайно эффективным средством экономии затрат потребителей за счёт снижения объёмов покупки дорогостоящей электроэнергии из сети. Модульные системы DPV могут устанавливаться множеством способов на объектах потребления электроэнергии: на крышах зданий и сооружений; в виде навесов на землях сельскохозяйственного пользования и над оросительными каналами; в наземных и плавучих установках в озёрах и прудах.

Развитие мирового рынка распределённой солнечной генерации

За рубежом солнечная генерация развивается уже несколько десятилетий. Технологии расположенных рядом с нагрузкой потребителей электроэнергии систем DPV, позволяющих потребителям производить электроэнергию для себя и для сети, перевернули традиционную парадигму одностороннего потока электроэнергии от сети к потребителям. Это не только привело к появлению в энергетическом секторе

новых субъектов, которые самостоятельно производят, потребляют и поставляют в сеть электроэнергию, но и способствовало внедрению новых механизмов интеллектуального управления и реагирования на спрос.

За последние десятилетия в зарубежных источниках опубликовано множество научных статей, обзоров и отчётов, в которых представлены результаты исследований в области развития, распространения и эксплуатации фотоэлектрических систем и интеллектуальных сетей, включая такие аспекты,

как взаимодействие фотоэлектрических систем с другими технологиями (ветро-, гидро- и биоэнергетика, накопители энергии, сети, тепловые насосы и т.д.), интеграция DPV в распределительные сети, повышение надёжности и эффективности эксплуатации интеллектуальных сетей в режиме реального времени.

При этом распределённая фотоэлектрическая энергия в виде крышных панелей является наиболее распространённой и эффективной технологией ВИЭ в мире ввиду простоты установки и интеграции в существующие электрические сети.

Программа содействия управлению энергетическим сектором Всемирного банка (ESMAP) подготовила серию докладов под названием “От солнца на крыше к электросети”, в которых основное внимание уделяется DPV как ключевому компоненту стратегий энергетического сектора. Серия включает в себя три доклада: “Распределённые фотоэлектрические системы в стратегиях энергетического сектора” (ESMAP-2021)¹ (рис. 1), “Энергетические системы и распределённые фотоэлектрические системы” (ESMAP-2023)² и “Экономика и политика распределённых фотоэлектрических систем” (ESMAP-2024)³, которые содержат руководство для политиков, регулирующих органов и коммунальных служб по разра-

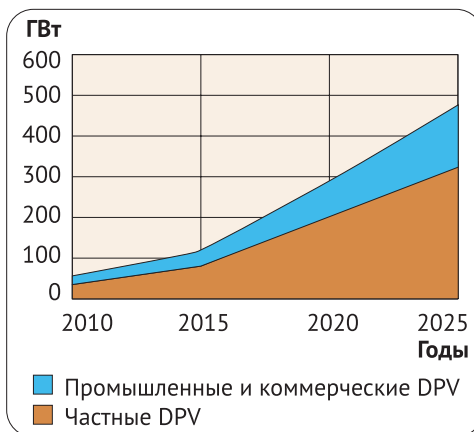


Рис. 1. Рост установленной мощности DPV в мире за период 2010–2025 гг.

ботке программ или пакета мер политики с использованием DPV, в том числе охватывающие технические регламенты и сетевые коды, включая стандарты подключения к сети.

В докладе ESMAP-2021 показано, что во всём мире установленная мощность DPV выросла от нескольких МВт в 2000 г. до 250 ГВт в 2019 г. и прогнозируется, что в 2025 г. этот показатель достигнет 500 ГВт. На рис. 1 показано, что развитие крышных DPV в мире идёт в последние годы примерно пропорционально: 2/3 из них принадлежат промышленным и другим коммерческим потребителям и 1/3 установлено в жилом секторе.

В докладе ESMAP-2021 описаны преимущества DPV, которые могут использовать непосредственно потребители, от индивидуальных домохозяйств до коммерческих организаций, с нулевыми эксплуатационными расходами и минимальным обслуживанием: уменьшить расходы на электроэнергию путём снижения объёмов закупок дорогостоящей электроэнергии в сети, справиться

¹ Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). 2021. *From Sun to Roof to Grid: Distributed PV in Energy Sector Strategies*. Washington, DC: World.

² Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). 2023. *From Sun to Roof to Grid: Power Systems and Distributed PV*. Washington, DC: World.

³ Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). 2024. *From Sun to Roof to Grid: The Economics and Policy of Distributed PV*. Washington, DC: World.

с ненадёжностью сети и сократить использование резервных генераторов, повысить качество потребляемой электроэнергии, расширить права потребителей по их выбору в отношении энергоснабжения.

В докладе приведены различные способы взаимодействия с коммунальными сетями и показаны выгоды для электросети от снижения потерь электроэнергии до повышения надёжности и гибкости электросетей, а также отмечен более качественный сервис потребителей с ненадёжным электросетевым обслуживанием. Кроме того, рассмотрены технические аспекты и различные способы взаимодействия DPV с основной сетью для снижения затрат в зависимости от способа подключения, способа оплаты и типов используемых счётчиков, инверторов и другого оборудования, обладает ли такое оборудование интеллектуальными приборами учёта и аналитическими возможностями обработки данных для внедрения технологий smart-grid и активного участия в различных бизнес-моделях DPV, в том числе для гибридных систем с дизельными генераторами и/или аккумуляторными батареями.

Материалы ESMAP-2023 предназначены в основном для технической аудитории (проектировщиков, операторов распределительных и передающих сетей, а также специалистов энергетических ведомств), в них рассматриваются вопросы влияния расширения масштабов внедрения распределённой солнечной генерации на энергосистему и управления большим количеством небольших и гибких ресурсов DPV, разбросанных по сети, что является сложной задачей, стимулирующей новые процессы анализа и проек-

тирования энергосистем с учётом альтернативных сценариев будущего. По мере постепенного роста уровня проникновения DPV от низкого к более высокому, как правило, возникают различные технические риски, например превышение пределов напряжения в распределительных фидерах⁴, стабильность электросетевого хозяйства из-за высокой доли инверторной генерации, трудности оценки характера влияния суточных кривых нагрузки с участием DPV на электросеть, прогноза спроса в режиме реального времени и других системных задач.

Главная цель отчёта ESMAP-2023 – объяснить ключевые проблемы, чтобы специалисты по планированию энергоснабжения и системные операторы могли найти решения, позволяющие проявить преимущества DPV и избежать неблагоприятных последствий для энергосистемы.

Заключительный доклад “Экономика и политика распределённых фотоэлектрических систем” (ESMAP-2024) предназначен для регулирующих органов, коммунальных служб и экспертов по энергетике по разработке и реализации политических мер и бизнес-моделей, которые могут в полной мере использовать недорогую, простую в установке модульную технологию DPV в крупной энергосистеме или в небольших региональных системах с нестабильными поставками электроэнергии потребителям. Особое внимание уделяется потенциальным экономическим преимуществам и проблемам массового внедрения

⁴ Фидер в электрике – это электрическая линия или кабель, который передаёт электроэнергию от подстанции или распределительного пункта к конечным потребителям или распределительным устройствам.

нестабильных во времени возобновляемых источников энергии с наличием двунаправленных потоков электроэнергии и необходимостью ежедневного или сезонного хранения электроэнергии для электроэнергетических компаний, которые обеспечивают подключение установок к сети и регулируют управление разбросанным по сети большим количеством небольших и гибких ресурсов. В докладе предложен набор идей, подходов и примеров для внедрения и доведения информации о преимуществах использования DPV до различных заинтересованных сторон, при этом особое внимание уделяется вопросам регулярного учёта и анализа динамики рынка и планирования развития сектора DPV в комплексных энергетических планах страны и её отдельных регионов.

Значимой программой технологического сотрудничества и развития мирового рынка фотоэлектрической энергии служит созданная более двух десятилетий назад Программа Международного энергетического агентства по фотоэлектрическим энергетическим системам (IEA PVPS), которая постоянно отслеживает тренды развития солнечной генерации в мировом аспекте. В рамках программы IEA PVPS были выделены шестнадцать задач, из которых многие в настоящее время находятся в рабочем состоянии и дополняются новыми, ежегодно публикуются аналитические отчёты по использованию солнечных ресурсов для широкого распространения, исследуются технологии и рынки, а также связанные с постоянным развитием фотоэлектрических технологий стратегические подходы для соответствующей деятельности

промышленности и правительств развитых и развивающихся стран. Ежегодные отчёты предоставляют всесторонние данные и анализ по глобальному развитию, технологиям и расширению рынка с 1992 по 2024 г. В отчёте IEA PVPS за 2025 г. рассматривается как первоочередная задача развитие трёх сегментов рынка фотовольтаики (PV): централизованного (крупные системы мощностью от нескольких МВт, которые в основном подают электроэнергию в сеть), распределённого (подключённые системы DPV к сети в точке потребления) и автономного. Отчёт направлен заинтересованным сторонам отрасли и политикам для понимания ключевых факторов развития рынка фотовольтаики⁵.

В отчёте показано, что развитие рынка PV в мире идёт более быстрыми темпами, чем планировалось ранее. В 2024 г. рынок достиг величины мощности 601.1 ГВт, при этом мировой централизованный сегмент рынка (373.0 ГВт, или 62%) незначительно превысил сегмент распределённых мощностей (228.1 ГВт, или 38%).

Всего в 2024 г. доля введённых в эксплуатацию PV установок составила более 80% от общего числа генерирующих мощностей, использующих ВИЭ (рис. 2).

Отмечено, что фотоэлектрическая энергия всё чаще используется для собственного потребления и такой параметр, как мощность, не является определяющим фактором, пиковая мощность подключённой к распределительной сети распределённой PV-генерации на

⁵ IEA, *Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS T1_2025) // Trends in photovoltaic applications, International Energy Agency. Paris, 2025.*

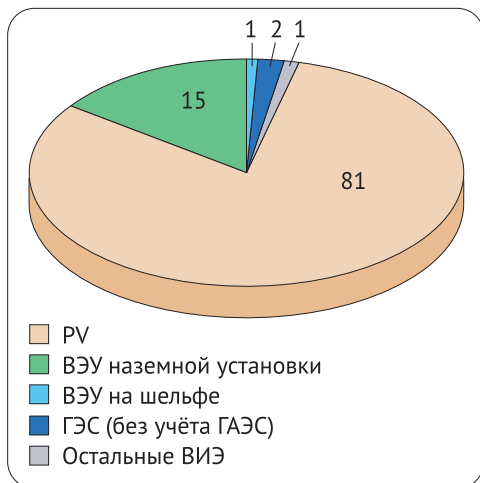


Рис. 2. Распределение введённых в 2024 г. генерирующих мощностей, использующих ВИЭ, по типам установок

крыше может составлять от нескольких сотен ватт до нескольких МВт. На рис. 3 представлено соотношение централизованного и распределённого сегментов рынка в различных регионах мира по состоянию на 2024 г., который показывает, что рынок DPV, предназначенный

для собственного потребления, занимает значительную долю малой крышной солнечной генерации для домохозяйств и коммерческих предприятий.

Особенно это заметно в странах Европы, где быстрое развитие фотоэлектрического рынка произошло раньше, чем в других регионах мира, особенно в сегменте распределённой электроэнергии, чему способствовало растущее самостоятельное потребление электроэнергии в жилых, коммерческих и промышленных помещениях, вызванное обеспечением различных государственных мер поддержки ВИЭ и высокими ценами на электроэнергию для потребителей.

В Германии, где энергетическая политика была направлена на децентрализованные сети с генерацией установок ВИЭ, к 2021 г. около 90% фотоэлектрических систем, подключённых к сети низкого напряжения (НН), являются малогабаритными (<30 кВт), что составляет около 33% от общей установленной мощности. К сетям было подключе-

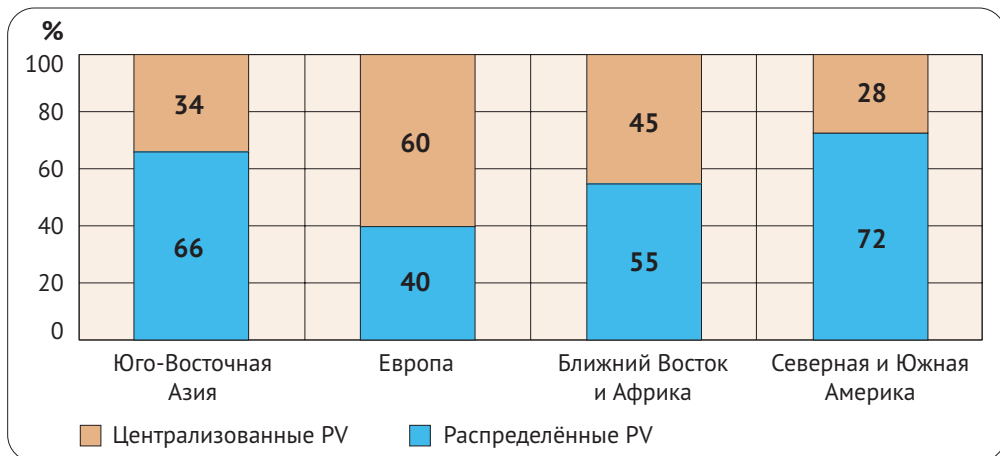


Рис. 3. Соотношение централизованного и распределённого сегментов рынка PV в различных регионах мира

но 1.35 млн потребителей с распределённой солнечной генерацией общей мощностью 23 ГВт со средней установленной мощностью 17 кВт, а на уровне среднего напряжения (СН) – около 62 тыс. установок ВИЭ с совокупной установленной мощностью 51.7 ГВт⁶.

В докладе Департамента агрокультуры США показано, что общая мощность фотоэлектрической генерации за период с 2008 по 2019 г. выросла в 800 раз – с 71 МВт до 58.8 ГВт, она распределена между системами коммунального назначения (61% рынка), конечными потребителями в жилых домах (24%) и коммерческими и промышленными потребителями (15%). Рост использования ВИЭ в США открывает значительные экономические возможности для сельского и лесохозяйственного секторов и сельских общин. Небольшие фотоэлектрические системы на крышах активно используются предприятиями или домашними хозяйствами на месте для снижения расходов на электроэнергию во многих частях страны. Домохозяйства и сельские предприятия выигрывают от более низких затрат на электроэнергию, чем при оплате коммунальных услуг, повышают в сочетании с аккумуляторными батареями надёжность энергоснабжения во время перебоев в электросети, сокращают выбросы парниковых газов и обеспечивают занятость населения⁷.

⁶ Chen S., Heilscher G. *Integration of distributed PV into smart grids: a comprehensive analysis for Germany // Energy Strategy Rev.*, 55 (2024), <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101525>

⁷ *Renewable Energy Trends, Options, and Potentials for Agriculture, Forestry, and Rural America. March 2021. U.S. Department of Agriculture // <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/renewable-energy-trends-2020>*

В отчёте IEA PVPS T1-2025 особое внимание уделено развитию новых технологий фотоэлектрических систем двойного использования для собственного потребления, что позволяет увеличить сельскохозяйственное производство и доходы фермеров. К числу таких видов применения фотоэлектрических установок относятся:

- одновременное использование сельскохозяйственных земель, включая открытые угодья и тепличные хозяйства, для производства энергии и продуктов питания, защиты от ущерба сельскохозяйственным культурам (град, чрезмерная солнечная активность);

- установки PV на доступных поверхностях озёр и водохранилищ, навесы над оросительными каналами, берегами, дамбами;

- установки PV на шумозащитных экранах вдоль автомагистралей, производящие электроэнергию для зарядных станций для электромобилей;

- фотоэлектрические системы двойного использования (BIPV) в архитектуре и дизайне зданий и сооружений для улучшения эстетики и функциональности зданий.

Европейской энергетической стратегией предусмотрено развертывание солнечных фотоэлектрических установок к 2030 г. суммарной мощностью более 720 ГВт. Для ускорения внедрения был разработан ряд инициатив: инициатива “Солнечные крыши” – обязательное поэтапное к 2026–2029 гг. использование солнечных батарей на крышах новых общественных, коммерческих и жилых зданий; использование многоцелевых земельных участков, включая сельскохозяйственные, плавучие и транспортные фотоэлектрические

установки; использование солнечной энергии для быстрой зарядки электротранспорта; улучшение сетевой инфраструктуры для распределённой интеграции солнечной энергии и другие инициативы.

В Турции в 2019 г. правительство утвердило новые положения и структуру для собственного потребления и вознаграждения за избыточную выработку электроэнергии по розничным тарифам для жилых, коммерческих и промышленных предприятий в соответствии с принципами и процедурами проектов солнечной энергетики на крышах, которое значительно увеличило размер нелицензируемых проектов DPV, имеющих право на поддержку. После утверждения постановления наблюдается значительный рост количества частных солнечных электростанций (СЭС) на крышах домов, мощность которых превысила 2 ГВт по состоянию на 2020 г., а по состоянию на 2024 г. установленная мощность DPV в нелицензируемом сегменте для собственного потребления была увеличена более чем в 10 раз и составляла 23.5 ГВт.

В Южной Корее реализуется один из крупнейших в мире проектов по внедрению солнечной генерации в городское пространство Сеула – “Солнечный город 2022”. Солнечные панели преимущественно крышного исполнения смогут обеспечивать солнечной энергией до полутора миллионов городских домохозяйств, их общая установленная мощность превышает 1.2 ГВт, а к 2050 г. долю электроэнергии от солнечной генерации планируется увеличить в пять раз, при этом столица будет наполовину обеспечиваться электроэнергией от Солнца,

достигнув показателя общей установленной мощности СЭС – 5 ГВт. Такой сценарий – лишь один из этапов и программ на пути дальнейшего энергетического перехода Южной Кореи.

Фотоэлектрическая система на крыше считается наиболее эффективным источником энергии для жилого сектора в Австралии, где по состоянию на конец 2020 г. на крышах 2.66 млн домов были размещены фотоэлектрические панели, что составляет 21% от общего количества домов в Австралии и является самым высоким показателем установки фотоэлектрических панелей на крышах жилых домов в мире. Количество установок в домохозяйствах постоянно растёт, при этом быстро растёт число домохозяйств, которые для повышения надёжности и эффективности использования солнечных панелей для обеспечения собственного спроса на электроэнергию дополнительно монтируют аккумуляторные батареи для хранения энергии (BES) и технологичные гибридные инверторы для получения дополнительных доходов от продажи излишков электроэнергии в сеть в часы пиковой нагрузки, когда текущая цена на электроэнергию максимально высокая для домовладельцев⁸.

Внимание в отчёте IEA PVPS T1-2025 уделено и развитию, и изменениям различных механизмов политической и экономической поддержки в условиях рыночного регулирования в электроэнергетике и увеличения объёмов проникновения PV-генерации в энергосистему

⁸ Khezri R., Mahmoudi A., Haque M.H. *Optimal capacity of solar PV and battery storage for Australian grid-connected households // IEEE Trans. Ind. Appl.* 2020. Vol. 56 (5). Pp. 5319–5329.

(льготных тарифов, прямых субсидий и налоговых льгот, конкурсных предложений и дополнительных премий и т.п.) за период с конца 1990-х по 2024 г. как в развитых странах (Европа, США, Китай, Австралия, Япония и др.), так и в развивающихся (Юго-Восточная Азия, Африка и др.).

Быстрое снижение затрат на фотоэлектрические системы привело к тому, что их конкурентоспособность во многих странах больше не является проблемой, рыночные и потребительские факторы становятся всё более определяющими. В жилищном и коммерческом потреблении электроэнергии на розничных рынках во многих странах предпочтительной моделью стало самостоятельное потребление и для этого адаптируются нормативные акты и меры поддержки, где основное внимание уделяется различным схемам самостоятельного потребления, а также инновационным формам коллективного самопотребления путём создания гражданских сообществ. Политика во многих странах рассматривается как нефинансовое стимулирование для поддержания самостоятельного потребления путём создания нормативно-правовой базы, позволяющей потребителям стать покупателями или энергетическими сообществами. Однако даже там, где фотоэлектрические технологии экономически эффективны и быстро окупаются, первоначальные инвестиционные затраты могут помешать внедрению, поэтому должны приниматься налоговые льготы, например на оборудование, или грантовые программы, нацеленные на развёртывание систем в сельской местности.

В 2011 г. МЭА опубликовало дорожную карту (Technology Roadmap Smart Grids) – аналитическую основу пути развития технологий ВИЭ вплоть до 2050 г. за счёт последовательного формирования политики финансирования и вовлечения общественности в продвижение и интеграцию различных источников возобновляемых энергетических ресурсов в существующую сеть, включая вопросы энергоэффективности, управления нагрузкой, реагирования на спрос и электромобилей. В дорожной карте основное внимание уделяется интеллектуальным сетям – инфраструктуре, которая использует цифровые и другие передовые технологии для мониторинга и управления баланса генерации и потребления в режиме реального времени для максимально эффективной эксплуатации всех частей системы, минимизации затрат и воздействия на окружающую среду при обеспечении максимальной надёжности, отказоустойчивости⁹ и стабильности системы¹⁰.

В документе МЭА “Активное управление энергопотреблением фотоэлектрических систем – современное состояние и технические решения”¹¹ отмечено, что в ряде стран мощность фотоэлектрических систем уже превысила минимальную электрическую нагрузку страны. Поэтому неограниченная подача

⁹ Отказоустойчивость – свойство технической системы сохранять свою работоспособность после отказа одной или нескольких её составных частей.

¹⁰ IEA, Technology Roadmap // Smart Grids 2011, OECD/IEA. Paris. 2011.

¹¹ IEA, Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS T1_2025) // Trends in photovoltaic applications, International Energy Agency. Paris, 2025.

электроэнергии в сеть в любое время становится всё менее возможной. В этой связи необходимо решение вопросов активного управления генерацией ВИЭ и энергопотреблением, что должно позволить дальнейшую интеграцию в сети новых источников, использующих солнечную энергию.

Одно из направлений IEA-PVPS – электрификация сельских районов и в первую очередь развитие коллективных сельских микро- и мини-сетей с преимущественной интеграцией гибридных солнечных фотоэлектрических систем для удовлетворения потребностей села в электроэнергии. Определены основные задачи развития: “Фотоэлектрические системы для нужд сельских общин”, “Внедрение фотоэлектрических услуг для регионального развития” и “Фотоэлектрические системы для мини-сетей и гибридных систем”. Цель данной публикации – представить современное состояние гибридных фотоэлектрических/дизельных систем с аккумуляторами для электрификации сельских районов и осветить основные нерешённые проблемы с точки зрения проектирования, технических аспектов и внедрения. Сочетание фотоэлектрических (PV) систем с дизель-генераторными установками (ДГУ) и системой хранения энергии является гибким и, как правило, наименее затратным решением для сельских общин, желающих установить микро-сеть для выработки электроэнергии. Чем выше доля PV, тем меньше зависимость от дизельного топлива и влияния его высокой цены на приведённую стоимость энергии (LCOE) микросети. Другие варианты могут дополнительно включать

внедрение и совместную работу небольших ветряных турбин, микрогидроэлектростанций и/или биогазовых установок, что позволит максимально использовать синергию различных природных ресурсов в локальной местности¹².

В отчёте Международного агентства по возобновляемой энергетике (IRENA)¹³ показано, что количество солнечных фотоэлектрических систем на крышах быстро растёт, средневзвешенная стоимость электроэнергии (LCOE) на солнечных фотоэлектрических установках постоянно снижается и продолжает снижаться, при этом эффективность и выходная мощность солнечных панелей существенно повышаются, что делает солнечную генерацию более привлекательной с экономической точки зрения, чем покупка электроэнергии из сети.

В отчёте IRENA за 2025 г., посвящённом обзору экономических аспектов генерации электроэнергии установками, использующими ВИЭ, утверждается, что средняя себестоимость выработки крупными фотоэлектрическими станциями, присоединёнными к энергосистемам, снизилась с 0.417 долл. США/кВт · ч в 2014 г. до 0.043 долл. США/кВт · ч в 2024 г., то есть почти в 10 раз за десятилетний период. При этом капитальные затраты снизились с более чем 5000 долл. США до менее

¹² *Active Power Management of Photovoltaic Systems – State of the Art and Technical Solutions. IEA PVPS Task 14, Report IEA-PVPS T14-15:2024, January 2024 ISBN 978-3-907281-46-8. <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/01/IEA-PVPS-T14-15-EXEC-SUMM-Active-Power-Management.pdf>*

¹³ *Rural Electrification with PV Hybrid Systems Overview and Recommendations for Further Deployment. IEA PVPS Task 9, Subtask 4, Report IEA-PVPS T9-13:2013 CLUB-ER, Thematic Paper. 2013. July.*

700 долл. США за 1 кВт установленной мощности¹⁴.

Инвестирование в фотоэлектрические системы для собственного потребления может решить множество проблем местных сообществ, например помочь предотвратить рост цен на электроэнергию, снизить зависимость от ископаемого топлива и выбросов от него, в некоторых случаях повысить качество потребляемой электроэнергии. Для повышения эффективности инвестирования в ВИЭ различными категориями конечных потребителей электроэнергии необходима политическая и нормативная поддержка со стороны государственных регулирующих органов.

В одном из отечественных источников¹⁵ представлен анализ и оценка текущего состояния и тенденций государственной климатической и энергетической политики наиболее крупных стран мира и Евросоюза с учётом принятых национальных климатических обязательств, а также – обзор технологий развития систем энергоснабжения крупных мегаполисов с участием ВИЭ, в том числе распределённых солнечных технологий. Благодаря активной государственной климатической и энергетической политике передовых и развивающихся государств распределённая солнечная энергетика быстро развивается во всём мире.

¹⁴ IRENA, *Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper)*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.

¹⁵ Кролин А.А., Гашо Е.Г. *Климатическая трансформация и адаптация энергетики зарубежных стран и мегаполисов*. М.: Издательство МЭИ, 2025. С. 471.

Согласно данным¹⁶, только в 2024 г. в мире было введено в эксплуатацию более 452 ГВт солнечных электростанций, из которых более 60% прироста пришлось на Китай (277 ГВт), за ним со значительным отставанием следуют Индия, США и Бразилия.

Ожидается, что стремительное расширение производства всё более дешевой энергии фотоэлектрическими установками обеспечит примерно половину роста мирового спроса на электроэнергию к 2027 г., по сравнению с 40% в 2024 г. В глобальном масштабе производство электроэнергии с помощью солнечных фотоэлектрических систем достигло отметки в 2000 ТВт · ч в 2024 г., обеспечив 7% мирового производства электроэнергии по сравнению с 5% в 2023 г. В течение следующих трёх лет примерно 600 ТВт · ч дополнительной электроэнергии будет производиться за счёт солнечной энергии ежегодно, что эквивалентно годовому потреблению Южной Кореи. Солнечная энергетика процветает во всём мире, устанавливая рекорды как на развивающихся рынках, так и в развитых странах – производство электроэнергии с помощью солнечных фотоэлектрических систем в Европейском союзе в 2024 г. превысило производство электроэнергии угольными ТЭС¹⁷.

Электрификация в Китае быстро развивается, и доля электро-

¹⁶ IRENA (Международное агентство по возобновляемым источникам энергии), *Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects // A Global Energy Transformation: paper*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.

¹⁷ IEA, *Electricity 2025: Analysis and forecast to 2027*, International Energy Agency, 2025.

энергии в конечном потреблении энергии (28%) значительно выше, чем в Соединенных Штатах (22%) или Европейском союзе (21%). Потребление электроэнергии в Китае растёт быстрее, чем экономика страны, начиная с 2020 г., что подчёркивает скорость, с которой электрификация распространяется на все сектора.

В период 2022–2024 гг. на промышленность пришлось почти 50% роста спроса на электроэнергию, а на коммерческий и жилой секторы вместе взятые – ещё 40%.

Промышленный сектор стал более энергоёмким. При этом треть роста спроса приходится на производство солнечных фотоэлектрических модулей, батарей и электромобилей. В 2024 г. эти промышленные сектора потребляли более 300 ТВт · ч электроэнергии в год – столько же, сколько Италия потребляет за год. В течение прогнозируемого периода (до конца 2027 г.) промышленный сектор продолжит занимать наибольшую долю в росте спроса в Китае. В то же время растущее количество кондиционеров, спрос на зарядку электромобилей, а также расширение центров обработки данных и сетей 5G будут продолжать играть значительную роль.

Валовой спрос на электроэнергию в Китае приблизился к отметке в 10 000 ТВт · ч к концу 2024 г., что составляет более трети мирового потребления электроэнергии. Несмотря на то что экономический рост Китая демонстрирует признаки замедления, спрос на электроэнергию в последние годы остаётся высоким. Потребление электроэнергии увеличилось примерно на 7% в годовом исчислении как в 2023, так и в 2024 г., несмотря на

замедление экономического роста до уровня примерно 5%. Аналогично в течение следующих трёх лет (2025–2027), в то время как прогнозируемый рост ВВП составляет в среднем около 4%, ожидается, что спрос на электроэнергию увеличится на более значительные 6%¹⁸.

Китай – безусловный мировой лидер как по производству, так и по вводу в эксплуатацию солнечных электростанций, включая фотоэлектрические системы и солнечные концентраторы (тепловые электростанции, использующие энергию Солнца). На конец сентября 2025 г. суммарная установленная мощность СЭС в Китае составляла более 1130 ГВт¹⁹. При этом на распределённые фотоэлектрические установки приходится около 40% общей установленной мощности СЭС, из которых немногим меньше половины (более 200 ГВт) к началу 2026 г. составляли крышные фотоэлектрические панели.

Особое внимание развитию и применению крышной фотовольтаики в Китае уделяется для потребителей в сельских регионах, особенно в домохозяйствах. В последние годы в сельских районах Китая ежегодно потребляется почти 350 млрд кВт · ч электроэнергии для бытовых нужд и почти 150 млрд кВт · ч для производства. Сельские районы Китая имеют общую площадь крыш 27.3 млрд м², потенциальная установленная мощность фотоэлектрических систем

¹⁸ IEA, *Electricity 2025: Analysis and forecast to 2027*, International Energy Agency, 2025.

¹⁹ О климатической повестке в России. Первый ежегодный национальный доклад. Центр “Климатическая политика и экономика России” ИИП РАН. 2025 // <http://www.unep.com.ru/pdf/climate-report-russia.pdf>

в жилых домах может составлять почти 2 млрд кВт, а годовой потенциал выработки электроэнергии с помощью солнечных панелей на крыше может превышать 2.5 трлн кВт · ч. Эта мощность может полностью компенсировать дефицит электроэнергии в сельской местности многих регионов Китая.

В ближайшей перспективе в Китае планируется превратить многие сельские районы в коллективные сельские электростанции путём объединения многочисленных распределённых источников, которые будут обеспечивать не только собственные потребности в электроэнергии, но и поставлять избыток электроэнергии в сеть для удовлетворения энергетических потребностей широкого круга других потребителей в близлежащих районах. Фотоэлектрические системы в сельских жилых домах могут быть усовершенствованы и объединены на основе деревенского или поселкового коллектива с единым планом содействия развитию надёжного и энергоэффективного электроснабжения сельских домохозяйств для увеличения комфортности и коллективного дохода.

Установка и техническое обслуживание таких фотоэлектрических станций создают рабочие места в сельской местности, начиная от просто установки оборудования до более специализированных работ по регулярному техническому обслуживанию, анализу режимов работы и продаж электроэнергии в сеть, тем самым способствуя местному экономическому росту и устойчивости. Чтобы максимально использовать этот потенциал, в Китае работают в основном две бизнес-модели: установка солнеч-

ных панелей по полной цене за счёт фермерского фотоэлектрического кредита для самостоятельного владения и получения всей прибыли от экономии и продажи электроэнергии, другая – сдача крыши за некоторую арендную плату компаниям, которые будут устанавливать и эксплуатировать солнечные батареи. Второй метод не требует вложения собственных средств, имеет нулевые риски, но низкую доходность.

В ходе разработки, проектирования и планирования DPV в Китае всё чаще начинают применяться виртуальные системы управления распределёнными энергоресурсами (Virtual Power Plant – VPP) с максимальным использованием цифровых технологий для интеграции в сеть и оптимизации управления распределёнными энергетическими и электрическими нагрузками. Применение таких передовых технологий, как Big Data, IoT и искусственный интеллект, даёт возможность VPP более эффективно управлять нагрузкой, особенно в периоды пикового спроса летом и зимой.

Китай лидирует не только по абсолютным показателям, связанным с установленной мощностью и суммарной выработкой электроэнергии на СЭС, но и в отношении внедрения новых технологий утилизации солнечной энергии. В провинции Ганьсу на северо-западе Китая расположена уникальная солнечная электростанция Akesai Huidong, которая стала одним из крупнейших проектов в области возобновляемой энергетики страны. Это первая в мире тепловая солнечная электростанция с двумя башнями-приёмниками и системой концентрированной солнечной энергии (рис. 4). Мощность станции составляет



Рис. 4. Вид с воздуха на Akesai Huidong – первую в мире солнечную тепловую электростанцию с двумя башнями



Рис. 5. Проект СЭС 350 МВт, Голмуд, Китай

750 МВт, а годовая выработка – порядка 1.8 млрд кВт · ч/год, что сопоставимо с годовым потреблением электроэнергии в Люксембурге. За счёт двойной башенной системы более эффективно используется энергия, отражённая зеркалами, что позволило снизить площадь зеркал, самой дорогой части гелиоконцентраторов. Благодаря системе тепловой аккумуляции на основе соли, нагреваемой до 570 °С, станция может генерировать электричество даже после захода солнца – вечером и ночью.

В 2025 г. в городском уезде Голмуд, расположенном в провинции

Цинхай на северо-западе Китая, стартовало строительство крупнейшей в мире солнечной тепловой электростанции единого модуля. СЭС будет состоять из трёх теплоулавливающих башен и одной паровой турбины с электрогенератором, а её гелиостатное поле площадью 3.3 млн м² станет крупнейшим в стране (рис. 5). Установленная мощность СЭС составит 350 МВт, а ежегодная выработка экологически чистой электроэнергии превысит 960 млн кВт · ч. Полное подключение электростанции к энергосети планируется завершить до конца 2027 г.