

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ РЫНКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ В РОССИИ

ТЕРЕНТЬЕВА Александра Станиславовна, as.terentyeva@yandex.ru, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук (ИНП РАН), Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-7366-8189

ТАРАСОВ Евгений Ярославович, tarasov10201@gmail.com, студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», лаборант Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук (ИНП РАН), Москва, Россия
ORCID: 0009-0007-7902-3676

В статье проводится анализ рынка распределенной энергетики и входящих в его структуру распределенной генерации и ВИЭ, систем хранения энергии, минисетей, систем управления спросом в мире и России. В рамках оценки состояния и перспектив развития технологий распределенной энергетики в мире и России сделан анализ публикаций по данной тематике. Приводятся оценки перспектив развития распределенной энергетики и ее сегментов в мире и России, а также предложения по развитию технологий распределенной энергетики в России.

Ключевые слова: распределенная энергетика, умные сети, накопители, ВИЭ, управление спросом, энергоэффективность, распределенная генерация, электромобили, микрогриды

DOI: 10.47711/2076-3182-2023-2-116-137

Введение. Концепция распределённой энергетики заключается в планомерном развитии энергетики в целом, подразумевающим производство энергии источниками разной мощности де-

централизованно, при котором потребитель может удовлетворять свои энергетические потребности самостоятельно и экономически эффективно, а также направлять излишки энергии в сеть. Распределенная энергетика (РЭ) является ключевым элементом «энергоперехода» от традиционных источников энергии и организации энергосистем к новым.

В России существует тренд перехода потребителей на децентрализованное энергоснабжение, в большей степени в теплоснабжении (особенно это проявлялось в первые 20 лет функционирования российской экономики). Кроме того, в стране существует необходимость энергоснабжения изолированных территорий страны [1]. Существует значимый потенциал повышения энергоэффективности текущей системы энергоснабжения.

Распределенная энергетика – перспективное направление развития НТП. В мире потенциал электрификации составляет 733 млн чел., реализация которого частично может происходить на технологиях распределенной энергетики – по оценке МЭА 75% новых подключений в этом сегменте будет осуществляться с помощью технологий распределенной энергетики. Ежегодный прирост сегмента распределенной энергетики составляет 6-9% в год против 1% роста энергопотребления.

Определение ключевых технологий распределенной энергетики, направлений для исследований и развития, перспективных рынков, в том числе в третьих странах может определить место России в мировом энергопереходе и повысить ее конкурентоспособность на мировой арене. Развитие энергетики, в основе которой лежат технологии, а не ресурсы, в условиях энергоперехода будет значимым атрибутом политики [2].

Цель статьи – оценить рынок распределенной энергетики, а также собрать оценки ее развития в мире и предложить направления развития для России с учетом ее специфики и возможностей.

Технологическая структура распределенной энергетики.

На схеме ниже проиллюстрирована схема распределенной энергетики, более гибкая архитектура энергосистемы по сравнению с традиционной (рис. 1).



Рисунок 1. Схема архитектуры энергосистемы в распределенной энергетике с выделенными потребителями

Источник: составлено авторами

На схеме (рис. 1) можно увидеть 2 основных кластера потребления: *независимые потребители* и *централизованные потребители*, подключенные к гибкой энергосистеме и взаимодействующие с новым рынком энергии посредством телекоммуникационных линий и линий электропередачи. Каждый кластер включает в себя собственный пул мощностей, отвечающих конкретной специфике.

Разноуровневые и разномасштабные источники генерации и потребители объединены в виртуальную электростанцию¹, которая позволяет объединить территориально разнесенные источники традиционной и возобновляемой генерации в единую сеть и предоставить комбинированную электроэнергию для удовлетворения потребительских энергозапросов, что в свою очередь позволит максимизировать эффективность генерирующих мощностей и снизить общие издержки сети.

¹ Виртуальная электростанция (VPP) совокупно объединяет множество территориально разнесенных источников электроэнергии в единую сеть, которая обеспечивает стабильное электроснабжение. Источник: MOXA INC

Распределенная энергетика включает в себя следующие технологии (список варьируется, видно далее по анализу публикаций):

- распределенная генерация,
- управление спросом,
- энергоэффективные решения,
- микрогриды (локальные энергетические системы, которые могут функционировать как в островном (изолированном), так и в присоединённом к общей сети режимах),
- различные системы управления (включая множество датчиков и систем управления, которые подстраиваются под спрос, искусственный интеллект),
- накопители и электромобили, а также множество других более мелких технологий и оборудования.

К распределенной генерации относятся объекты (обычно малой мощности), основанные на традиционных или возобновляемых энергетических ресурсах, расположенные вблизи потребителей или находящиеся в составе распределительной сети.

Управление спросом подразумевает изменение потребления электроэнергии конечными потребителями относительно обычного режима потребления для сокращения затрат системы и получения в результате личной выгоды. Это позволяет уменьшить пиковые нагрузки в системе и потребность в пиковых мощностях.

Энергоэффективность и энергосбережение включают в себя мероприятия по применению передовых практик в конструировании и использовании энергетических систем и внедрению энергоэффективных технологических решений, способствующих рациональному использованию энергетических ресурсов в долгосрочной перспективе, как на стадиях производства и передачи энергии, так и на стадии потребления. При этом основные эффекты находятся на стадии потребления энергии и топлива. Так, потенциал повышения энергоэффективности в зданиях составляет 32% экономии первичной энергии [3]. По оценкам МЭА потенциал экономии энергии в зданиях за счет строительства высокоэффективных и реконструкции существующих зданий составляет более 50% годового мирового потребления энергии до 2060 г.²

² John Dulac *Unlocking energy savings from buildings* // IEA, 2017. Режим доступа: <https://www.iea.org/commentaries/unlocking-energy-savings-from-buildings> (дата обращения: 10.06.2023)

Микрогриды представляют собой децентрализованную энергосистему, работающую как в изолированном «островном режиме», так и подключённую к общей системе энергоснабжения. Архитектура микрогридов представлена на рис. 2.

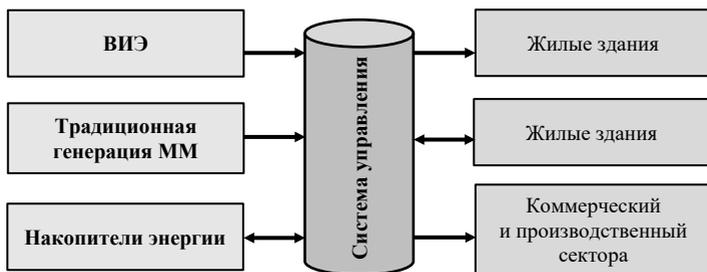


Рисунок 2. Архитектура микрогридов

Накопители энергии представляют собой класс разномастных систем хранения энергии, устанавливаемых у потребителей и на объектах распределенной генерации, позволяющих накапливать, хранить и отдавать электроэнергию, тем самым влияя на энергетический рынок. В настоящее время среди накопителей наиболее эффективными и доступными являются литий-ионные аккумуляторы.

Электромобили также входят в систему распределенной энергетики, поскольку способны и потреблять, и накапливать электроэнергию.

Интеллектуальная система управления на основе данных от различных датчиков и устройств измерения осуществляет регистрацию и хранение параметров электроэнергетической системы, осуществляет диагностику и устранение неполадок в реальном времени, прогнозирует аварийные ситуации и способы их предотвращения [4].

Технологии интернета вещей позволяют развернуть цифровой мост между физическими объектами и виртуальной средой, что дает возможность собирать информацию о состоянии объекта, производить удаленный мониторинг и управление посредством различных датчиков, контроллеров и сенсоров. Такие решения имеют широкую базу отраслей, которые нуждаются в таком виде технологий, начиная от домохозяйств и заканчивая

сектором производств, а также государственных учреждений. Также данный тип технологий используется в построении сетевой инфраструктуры Smartgrid [5].

Основное преимущество для потребителя электроэнергии от распределенной энергетики – это снижение стоимости конечного продукта благодаря сокращению амортизационных наценок в тарифе, а также рациональному потреблению и появлению нового конкурентного рынка поставщиков электроэнергии (P2P и P2B). Другими преимуществами распределенной энергетики относительно централизованной являются относительно низкие потери при передаче электроэнергии из-за близости объектов генерации к месту потребления, низкие сроки развертываемости, интегрирования и ввода в эксплуатацию объектов генерации, отсутствие инвестиций в создание избыточной инфраструктуры.

Формально в России к распределенной генерации относятся источники электрической и (или) тепловой энергии, приближенные к местам потребления, мощностью менее 25 МВт (ГТУ, ГПУ, ДЭС, ВИЭ). В мире точного общего определения нет, к распределенной генерации относятся маломасштабные технологии производства энергии обычно мощностью в диапазоне от 1 кВт до 10 МВт.

Оценки развития распределенной энергетики в мире.

В стоимостном выражении рынок распределенной энергетики по данным на 2020 г. оценивается в 300–400 млрд дол.: распределенная генерация – 150–200 млрд дол., счетчики – 40–60 млрд дол., электромобили – 60–90 млрд дол., модульные реакторы малой мощности, системы хранения электроэнергии – 7–15 млрд дол., микросети и умные энергосистемы – 50–75 млрд дол., высокопроизводительные газовые турбины – 10–20 млрд долл.³ (рис. 3). Большая часть рынка распределенной энергетики представлена распределенной генерацией – 40%. Кроме того большим сегментом распределенной энергетики являются системы хранения энергии и накопители (30%). Умные сети составляют 16% в структуре распределенной энергетики. Доля систем

³ *Distributed Energy Generation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Residential, Commercial & Industrial), By Technology (Fuel Cells, Solar PV), By Region, And Segment Forecasts, 2020–2027// Grand view research, 2018. Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/distributed-energy-generation-industry/toc> (дата обращения 10.06.2023)*

управления энергосистемой оценивается в 6%, систем управления спросом – 4%, мероприятий по энергоэффективности – 4%.

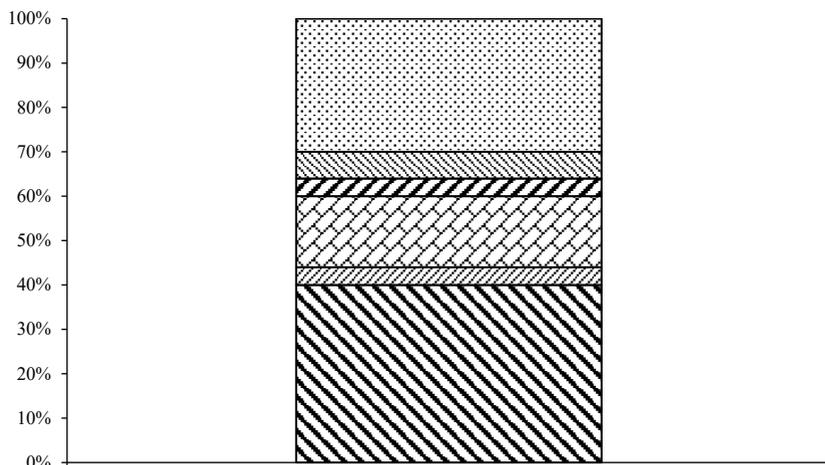


Рисунок 3. Оценка стоимостной структуры рынка распределенной энергетики в мире на 2020 г., млрд долл.:

- распределенная генерация; ▨ управление спросом; ▩ умные сети;
- ▧ энергоэффективность; ▤ системы управления, счетчики;
- ▩ накопители

Источники: оценки авторов на основе данных Navigant Research, CNESA, Markets and Markets Research, Precedence Research, Global Data, Grand View Research, Emergen Research

Мировой рынок технологий распределенной энергетики ежегодно растет на 6-9% в год [6]. К 2030 г. 75% новых подключений, по мнению МЭА, придется на распределенные источники⁴.

За 2011-2017 гг. число людей, получивших доступ к электроснабжению посредством распределенной генерации, выросло с 20 млн до 152 млн чел.⁵ При этом из них 95 млн чел. это жители Азии, а 55 млн чел. – жители Африки.

Так, распределенная генерация в Африке растет в 16 раз быстрее централизованной⁶. Стремительный рост распределенной

⁴ World Energy Outlook. P., IEA, 2018. P. 241

⁵ Ren 21. Renewables 2019. Global Status Report. P., IRENA, 2019. P. 136

⁶ Developing Distributed Generation in Africa. Clarke energy. Режим доступа: <https://www.clarke-energy.com> (дата обращения 20.06.2023)

энергетики в странах Африки и Азии привел к росту доли распределенной генерации в выработке электроэнергии [6]. На 2016 г. ведущими странами мира по доле распределенной генерации в производстве электроэнергии являются Бангладеш (9%), Монголия (8%), Непал (6%), Фиджи (5%), Руанда (4%) и Уганда (3%) [8].

Основные тенденции развития распределенной энергетики на основе анализа публикаций. Для исследования развития распределенной энергетики был проведен анализ научных публикаций в системах⁷ Scopus, Scival, Elibrary, Google Scholar. Подобный анализ дает представление о развитии и распространении технологий распределенной энергетики в мире, помогает выявить основных игроков и найти наиболее перспективные сегменты для развития, в том числе в России.

В англоязычных системах поиск происходил по термину Distributed energy – производство и хранение электроэнергии, выполняемые различными небольшими устройствами, подключенными к сети или распределительной системе, называемыми distributed energy resources (DER).

По данным анализа публикаций в информационных и аналитических системах Scopus, Scival, Elibrary, Google Scholar концепция распределенной энергетики и технологии в данной сфере только начинают свое развитие.

В таблице 1 представлены результаты анализа публикаций по тематике распределенной энергетики во всех четырех аналитических системах, а также анализ публикаций по отдельных подтемам в SciVal.

Запросов по подтемам больше, чем по большой теме – «распределенная энергетика» 103 тыс., «накопители энергии» 356 тыс., «распределенная генерация» 107 тыс. (данные Google Scholar), что наблюдается во всех аналитических системах.

Число публикаций по тематике распределенной энергетики показало экспоненциальный рост в последние 30 лет. Скорее всего интерес к этой теме, а значит, и исследования по ней будут продолжаться.

⁷ *Онлайн-платформы для мониторинга и анализа научных публикаций.*

Таблица 1

Результаты анализа публикаций по тематике распределенной энергетики в аналитических системах

	Период	Число публикаций	Число цитирований	Цитирований на статью	Доля	Выделяются университеты
Всего по системе Scopus	1950-2022	96 000				США, Китай
Всего по системе Elibrary	1989-2022	10 500				
Всего по системе Google Scholar	2000-2022	103 000				
Всего по системе SciVal, подтемы:	2012-2021	227 566				
Grid; Robust Optimization; Distributed Generation	2012-2021	143 000	4 169 498	18,3	63%	США
Microgrid; Inverter; Harmonic Distortion	2012-2021	76 000	3 374 800	23,6	33%	Китай, США
Placement; Active Distribution Network; Voltage Stability	2012-2021	4 600	64 000	9,1	2%	Китай
Overcurrent Protection; Microgrid; Fault Current Limiters	2012-2021	2 600	28 500	11,1	1%	Иран
Distribution Network; Electric Power Distribution;	2012-2021	787	8 500	10,8	0%	Китай
Distributed Generation						
Power Markets; Smart Grid; Microgrid	2012-2021	389	4 200	10,9	0%	Португалия
Distributed Generation; Electric Potential; Inverters	2012-2021	87	791	9,0	0%	Португалия
Smart Grid; Observability; Demand Response	2012-2021	48	291	6,1	0%	Италия
Enterprise Architecture; Smart Meters; Business Model	2012-2021	26	233	9,0	0%	Европа
Electric Power Transmission Networks; Smart Grid;	2012-2021	29	183	6,3	0%	Европа
Distributed Generation						

Источник: Scopus, Scival, Elibrary, Google Scholar.

Наиболее распространены публикации по теме распределенной энергетики в Китае и США. В этих странах и финансируются основные исследования. Это означает, что здесь будут формироваться базовые технологии в данном направлении.

Согласно анализируемым данным интерес к теме распределенной энергетике пока заметен только у институтов и университетов. Интерес корпораций к данной теме в научных публикациях пока не прослеживается, хотя, скорее всего, он есть.

Зарубежные статьи представлены в инженерных и компьютерных науках, российские – в экономике и энергетике. В системах Scopus и Scival (у этих систем одна база) около 30% статей в инженерных науках, 18% – в области компьютерных наук, 17% – в энергетике, остальное – в математике, физике, науке о материалах и прочее. В России больше половины статей представлены в энергетике (3 тыс.) и экономике (2,5 тыс.) – более гуманитарном направлении. Наиболее цитируемыми являются статьи на темы умных сетей и распределенной генерации, а значит они, будучи наиболее популярными, и получают наибольшее распространение.

Существуют проблемы с сопоставлением тем на русском и английском языках и распространением отдельных терминов в России. Так, например, в табл. 1 умные сети представлены в нескольких подтемах в системе Scival.

Россия на фоне этих стран совсем не заметна (основное число работ опубликованы после 2010 г.), количество публикаций по данной тематике мало. Исследование отдельных подтем распределенной генерации показывает полное отсутствие российских работ. Однако на основании мирового опыта можно сделать вывод о наиболее предпочтительных направлениях развития – умных сетях и накопителях. В этих направлениях у Российских компаний есть некоторые заделы.

Описание развития ВИЭ и распределенной генерации в мире. В мире ежегодный ввод мощностей распределенной генерации составляет порядка 120-150 ГВт (рис. 4). Ввод мощностей распределенной генерации уже превышает ввод мощностей централизованной генерации.

По оценкам Navigant Research ввод мощностей распределенной генерации к 2025 году будет втрое больше объема ввода централизованной генерации (рис. 5)⁸.

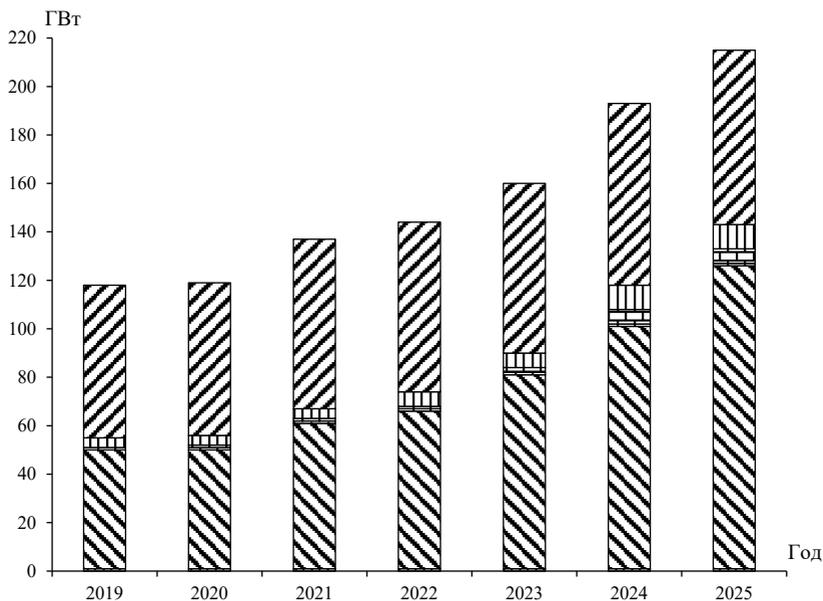


Рисунок 4. Ввод установленной мощности РГ в мире до 2025 г., ГВт:

- прочие ВИЭ; ▨ ВЭС; ▩ СЭС; ▤ микротурбины;
- ▧ стационарные установки; ▨ ГТУ; ▩ ДГУ

Источник: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering

По разным оценкам к 2025 г. ежегодный прирост мощностей распределенной генерации составит 200-300 ГВт.

Описание систем хранения энергии в мире. Мощность проектов по системам хранения энергии в 2019 г. составила 185 ГВт⁹, рост относительно 2018 г. – 2%. Почти 93% мощности систем накопления энергии составляет гидроаккумулирующая технология, 5% суммарной мощности – электрохимическое накопление энергии, в основном это литий-ионные аккумуляторы (рис. 6).

⁸ Navigant Research. Global DER Deployment Forecast Database, 4Q 2017

⁹ China Energy Storage Alliance, 2022. Режим доступа: <http://en.cnesa.org/> (дата обращения 19.05.2023)

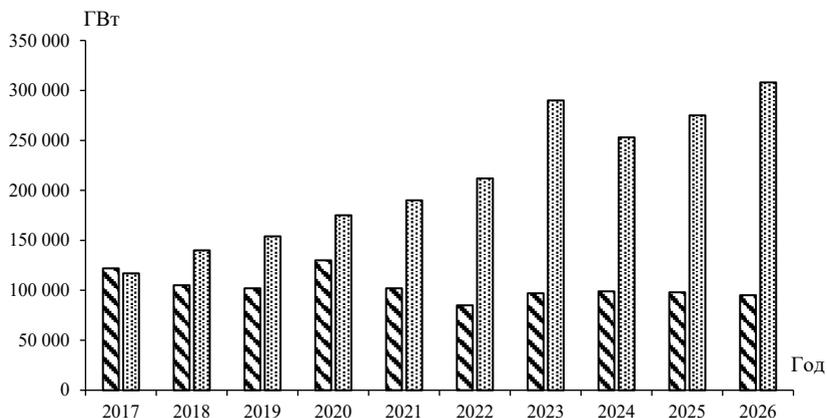


Рисунок 5. Ввод мощностей электростанций в мире 2017-2026 гг., ГВт:

- ▨ новые мощности централизованной генерации;
- ▤ новые мощности распределенной генерации

Источник: Navigant Research

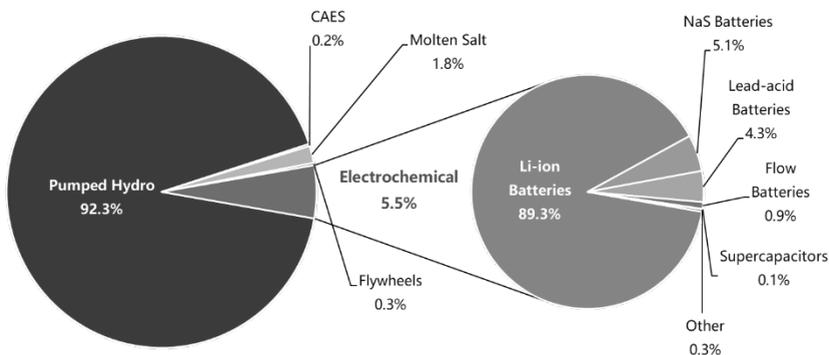


Рисунок 6. Структура рынка систем накопления энергии.

Источник: CNESA Global Energy Storage Database

По оценке BNEF, в период с 2022 по 2030 год в мире будет добавлено 387 ГВт мощностей накопителей и составит 1 ТВт мощностей систем хранения¹⁰. Согласно более агрессивным прогнозам к концу 2031 года совокупная установленная мощность

¹⁰ BloombergNEF's 2022 Global Energy Storage Outlook, 2022. Режим доступа: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (дата обращения 30.05.2023)

систем накопления в мире без учета ГАЭС составит 500 ГВт¹¹ или 690 ГВт¹².

Описание мирового опыта внедрения и эксплуатации систем управления рынком электроэнергии. Системы управления рынком электроэнергии представляют собой информационно-энергетическую инфраструктуру, которая позволяет собирать, анализировать и прогнозировать нагрузку, выявлять изношенность оборудования и сетей, анализировать возможность аварий и подключения новых потребителей, организовывать взаимодействие производителей и потребителей электроэнергии.

В США активно внедряется программа управления спросом в электроэнергетике. Данная система способствует либерализации рынков электроэнергии и мощности. На 2021 г. оценка объемов мощности, принимающей участие в данной программе, составляет 60 ГВт (рис. 7). По прогнозу Navigant Research к 2025 г. этот показатель может составить 144 ГВт, и в программу будут включены и Европа, и Азия, и Латинская Америка, и Ближний Восток.

Описание мирового опыта внедрения минисетей. Более 48 млн чел. эксплуатируют 21,5 тыс. минисетей. Половина из этих сетей подключена к солнечной генерации. Инвестиции в эти объекты распределенной энергетики составили 29 млрд долл. [8].

Насчитывается более 9 тыс. установленных минисетей в Южной Азии, 7 тыс. минисетей – в Восточной Азии и Тихоокеанском регионе, 3 тыс. – в Африке. Половина этих минисетей распределенной энергетики подключены к солнечной генерации, 21% – к гидроэнергетике, 13% работают на дизельном/мазутном топливе, 13% – гибридная солнечная генерация.

К 2030 г. прогнозируется установка 217 тыс. минисетей, что позволит обеспечить электроэнергией 490 млн чел. и будет стоить 127 млрд руб. Почти все они будут подключены к солнечной генерации [8].

¹¹ Anna Darmani *Global energy storage: staggering growth continues – despite bumps in the road.* Wood Mackenzie, 2022. Режим доступа: <https://www.woodmac.com/news/opinion/global-energy-storage-staggering-growth-continues--despite-bumps-in-the-road/> (дата обращения 12.06.2023)

¹² Прогноз рынка накопления энергии до 2050 года. Rethink Energy, 2022. Режим доступа: <https://renen.ru/moshhnosti-sistem-nakopleniya-energii-prevysyat-3700-gvt-k-2050-g-issledovanie/> (дата обращения 10.05.2023)

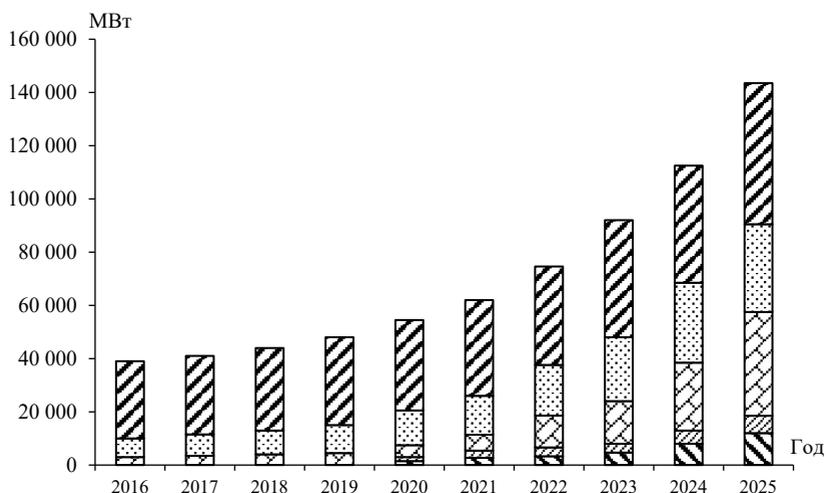


Рисунок 7. Прогноз включения мощности потребителей в программы управления спросом, МВт:

- ▨ Ближний Восток и Африка; ▩ Латинская Америка;
- ▤ Юго-Восточная Азия и Океания; ▥ Европа; ▧ Северная Америка

Источник: Navigant Research

Описание основных игроков рынка распределенной энергетики. В таблице 2 представлены основные игроки рынка распределенной энергетики. Крупнейшими производителем возобновляемой энергии являются Китай, Европа и США.

Ведущими странами по продаже оборудования для распределенной энергетики в мире являются Индия – 37% продаж, Кения – 15%, Эфиопия – 6%, Уганда, Танзания, Монголия – по 5%¹³.

Наибольшие доли в мировом производстве оборудования для возобновляемой энергетики и в выданных патентов в данной сфере в Китае (39% и 29%), Японии (7% и 14%), США (6% и 18%), Германии (6% и 7%) [2].

Из производителей оборудования для ВИЭ выделяются Vestas (Дания), General Electric Energy (США), Suntech (Китай), Siemens Gamesa (Испания).

¹³ Global Off-Grid Solar Market Report. Utrecht, The Netherlands, 2017

Основные игроки рынка распределенной энергетики

	Страны	Компании	Россия
ВИЭ	Швеция, Коста-Рика, Никарагуа, Шотландия, Германия, Уругвай, Дания, Китай, Марокко, США	General Electric, Iberdrola, Constellation Energy, NextEra, Vestas Wind Systems, Jinko Solar, Canadian Solar, Brookfield Renewable, Daqo New Energy, Algonquin Power & Utilities	ГК «Хевел» (СЭС), ООО «Солар кремниевые технологии» (СЭС) и ООО «Хелиос ресурс» (СЭС), ГК «Росатом» (ВЭС) и ПАО «ЭЛС-Энерго» (ВЭС)
Умные сети	Китай, США, Япония, Индия, Германия	IBM, Siemens, Cisco, ABB, Itron, Enphase Energy, S&C Electric Company, Stem, Tendril, Sunverge, Tata Power Renewable Microgrids, Husk Power, OMC Power	ПАО «Россети», АО «БЭСК» (внедрение сетей)
Накопители	США, Чили, Китай, Индия, Япония, Австралия, Республика Корея, Германия, Великобритания, Франция	Tesla, LG Chem, Samsung SDI, Fluence Energy, BYD, NGK Insulators, GS Yuasa Corp., NEC Energy Solutions, Saft Groupe, Narada Power Source, Toshiba Corp., Wartsila Corp.	АО «Энергия» и ООО «Рэнера» (входящей в состав топливной компании Росатом «ТВЭЛ»), ООО «Лидотех» (Группа РОСНАНО), АО «ГК Инэнерджи», ООО «Системы накопления энергии»
Системы управления	Италия, Китай, США, Япония, Вьетнам	Siemens, AutoGrid, General Electric Energy, EDF, Enel, Engie, Iberdrola, Shell, Tokyo Electric Power Co	«ВПлатформа» (реализует ООО «ИНТЭЛАБ» – ГК «RTSoft»), АО «Элдис», АО «Энергоресурс» и ГК «Росатом»

Источники: Northeast Group, Emergen Research, Global Data, Investopedia, Sustainable Energy for All, BloombergNEF

В России генерирующее оборудование производят ГК «Хевел» (СЭС), ООО «Солар кремниевые технологии» (СЭС) и ООО «Хелиос ресурс» (СЭС), ГК «Росатом» (ВЭС) и ПАО «Энел Россия» (ВЭС) (табл. 2).

Умные сети наиболее распространены в Китае, США, Японии, Индии и Германии. Минисетями занимаются крупные энергетические компании – EDF, Enel, Engie, Iberdrola, Shell, Tokyo Electric Power Co, Mitsui и Sumitomo¹⁴.

Крупнейшими игроками на рынке накопителей являются США и Китай, к 2030 г. их совокупная мощность будет составлять более половины мировых объемов хранилищ энергии. Также крупные системы хранения энергии представлены в Индии, Австралии, Германии, Великобритании и Японии. Над системами хранения энергии в России работают АО «Энергия» и ООО «Рэнера» (входящей в состав топливной компании Росатом «ТВЭЛ»), ООО «Лиотех» (Группа РОСНАНО), АО «ГК Инэнерджи», ООО «Системы накопления энергии».

В сфере программного обеспечения и управления энергосистемой собственные продукты разработаны компаниями Siemens и AutoGrid, которые имеют опыт применения в Италии, Китае, США, Японии и Вьетнаме. В России над системами управления в распределенной энергетике работают компания «АПлатформа» (реализует ООО «ИНТЭЛАБ» – ГК «RTSoft»), АО «Элдис», АО «Энергоресурс» и ГК «Росатом».

Россия имеет заделы в технологиях распределенной энергетики и может сотрудничать в их производстве, а также реализации проектов в дружественных странах.

Развитие распределенной энергетики в России. В 2019 г. в России был принят закон¹⁵, регулирующий производство электроэнергии на объектах микрогенерации (мощностью не более 25 МВт), определяющий порядок технологического присоединения таких объектов к электросетям, а также позволяющий продавать излишки электроэнергии на розничных рынках. Однако в настоящее время он практически не работает.

Доля малой генерации в производстве электроэнергии в энергосистеме России составляет 1%, в установленной мощности – 9-10%.

¹⁴ State of the Global Mini-grids Market Report 2020 // Sustainable Energy for All (SEforALL), BloombergNEF, 2020a

¹⁵ Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об электроэнергетике" в части развития микрогенерации" // Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280019>

Суммарная мощность распределенной генерации в России оценивается в 13-24 ГВт [7]. В России число объектов распределенной генерации оценивается в 50 тыс., из них около 1,5 тыс. – мини-ТЭЦ.

По оценке ИСЭМ РАН для того, чтобы малая РГ в городах и промышленных центрах конкурировала с крупными ТЭЦ и котельными, ее доля должна быть 10-15% [9].

Крупные компании и отдельные потребители развивают проекты распределенной энергетики: крупные промышленные компании (Норникель, НЛМК, Роснефть, Газпром, Лукойл, Сибур, Т Плюс, ГЭХ), ЖКХ и услуги (Магнит, Лента, девелоперы ТЭН, Сибирь), мобильные потребители, индивидуальные дома, территории, имеющие местное топливо.

Перспективы рынка распределенной энергетики. Развитие распределенной энергетики происходит на базе энергоперехода, который уже идет. Источники генерации малой мощности, накопители энергии, электромобили уже получили распространение и трансформируют мировую энергосистему.

Рынок распределенной энергетики в мире по прогнозу Grand View Research к 2030 г. растет в 2,4 раза, что соответствует ежегодному приросту в 9%. В то же время прогноз прироста мировой экономики Мирового Банка и мирового энергопотребления МЭА составляет 2% и 1% соответственно¹⁶ [10]. В денежном эквиваленте рынок распределенной энергетики оценивается в 920 млрд. руб. в 2030г.¹⁷

Как было показано выше, прирост новых мощностей распределенной генерации будет втрое превышать ежегодный прирост мощностей централизованной генерации к 2030 г. По обновленным в 2022 г. оценкам МЭА доля ВИЭ в мировом энергобалансе вырастет с 25% в 2021 г. до 38% в 2027 г.¹⁶ Однако этот прогноз был сделан под влиянием высоких цен на ископаемые виды топлива в 2020-2022 гг. и политического решения западных стран отказаться от ископаемых видов топлива. Для

¹⁶ World Energy Outlook 2022 // IEA, 2022. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> (дата обращения 19.05.2023)

¹⁷ Distributed Energy Generation Market to Reach \$919.6 Bn, Globally, by 2030 at 14.2% CAGR: Allied Market Research // Bloomberg, 2021. Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/press-releases/2021-10-18/distributed-energy-generation-market-to-reach-919-6-bn-globally-by-2030-at-14-2-cagr-allied-market-research> (дата обращения 29.05.2023)

достижения этих оценок инвестиционные решения должны уже приниматься, чего не происходит. Поэтому оценки МЭА выглядят завышенными.

Основной прирост мощностей распределенной энергетики предполагается за счет развития электрификации в тех районах, где нет доступа к электроэнергии. Потенциал электрификации на 2022 г. составляет более 700 млн чел.¹⁸ В основном это бедные регионы с низкой плотностью заселения.

В странах Африки все еще остается высокий потенциал для электрификации [11]. Так, доля населения, имеющего доступ к электроэнергии, в Африке на 2017 г. составляет 52% (в мире – 83%, в Азии – 91%)¹⁹. В этих регионах развитие распределенной энергетики имеет большой потенциал для развития в виду рассредоточенности расселения населения и сравнительной дешевизны микрогридов и распределенной генерации.

По оценке BNEF к 2030 г. необходимо обеспечить электроэнергией 238 млн домохозяйств в Африке, Азии и островных государствах. Обеспечение почти половины (111 млн домохозяйств) из них предполагается за счет распределенной энергетики. Это потребует инвестиций в размере 128 млрд долларов^{14, 20, 21}.

Достижение универсального доступа к электроэнергии к 2030 г. маловероятно без использования технологий распределенной энергетики.

В период с 2022 по 2030 год в мире будет добавлено 387 ГВт мощностей накопителей и составит 1 ТВт мощностей систем хранения.

К 2025 г. объем мощности, принимающей участие в программе управления спросом, может составить 144 ГВт, и в программу будут включены Европа, Азия, Латинская Америка, Ближний Восток.

¹⁸ 733 млн человек живут без электричества – возобновляемые источники могут решить проблему // ООН, 2022. Режим доступа: <https://news.un.org/ru/story/2022/10/1433427> (дата обращения 21.06.2023)

¹⁹ ОЕСП/IEA “Sustainable development Goal 7: Access to clean cooking”. Режим доступа: <https://www.iea.org/sdg/cooking/> (дата обращения 21.06.2023)

²⁰ Объем глобальных инвестиций в мини-сети может достигнуть 128 млрд долларов к 2030 году // RENEN, 2020. Режим доступа: <https://renen.ru/obyom-globalnyh-investitsij-v-mini-seti-mozhet-dostignut-128-mlrd-dollarov/> (дата обращения 21.06.2023)

²¹ Renewable Capacity Statistics. IRENA, 2022

К 2030 г. планируется установка 217 тыс. минисетей, что позволит обеспечить электроэнергией 490 млн чел. и будет стоить 127 млрд руб.

Состояние и потенциал распределенной энергетики в России. В России распределенная энергетика также будет развиваться, что отражено среди задач Энергетической стратегии России до 2035 года²².

По оценкам ИНЭИ РАН [7] потенциал распределенной генерации в России составляет 60 ГВт, что включает в себя замену котельных и выбывающих ТЭЦ на источники распределенной генерации, а также покрытие роста спроса на тепловую энергию. Кроме того, в стране существует потенциал в области преобразования неэффективных котельных в миниТЭЦ²³.

Потенциал технологий управления спросом для ценовых зон ЭЭС суммарно составляет 13 ГВт. Потенциал энергосбережения составляет еще 6-12 ГВт мощности.

Потенциал собственной генерации потребителей составляет 13 ГВт, управления спросом – до 4 ГВт, энергоэффективности – 1,5 ГВт и микрогенерации на ВИЭ – 0,6 ГВт.

Рынок Энерджинет (приоритет – страны БРИКС+) оценивается до 746 млрд долл. к 2035 г.²⁴

В Энергостратегии и Генсхеме предполагается рост суммарной мощности малой распределенной генерации до 50 ГВт.

75% новых подключений населения, не имеющего доступа к электроэнергии, будут происходить за счет распределенной энергетики до 2030 г. – в основном это дружественные страны.

Наиболее перспективными для России технологиями являются накопление энергии, большие данные, умные сети, управление спросом, энергоменеджмент зданий, агрегаторы.

²² Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р.

²³ Особенности интеграции и перспективы эффективного использования объектов распределенной генерации в электроэнергетической системе России: Протокол совместного заседания от 18.10.2018 №5/18 Научно-технической коллегии НИП «НТС ЭЭС» и Секции по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики Научного совета РАН по комплексным проблемам энергетики. – М., 2018.16 с.

²⁴ Энерджинет, 2018, Национальная технологическая инициатива. Режим доступа: <https://nti2035.ru/markets/energynet> (дата обращения 10.06.2023)

Выводы. Технологии распределенной энергетики в мире активно развиваются, но находятся в начальной стадии за исключением некоторых направлений в отдельных сегментах. Однако уже есть некоторые заделы в распределенной генерации, системах накопления, системах управления и прочих сегментах. Россия находится пока на начальных стадиях этого процесса.

Развитие распределенной энергетики в России может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, необходимостью энергоснабжения изолированных территорий страны [12-15]. Во-вторых, наличием тренда перехода потребителей на децентрализованное энергоснабжение, в большей степени в теплоснабжении. В-третьих, наличием большого потенциала повышения энергоэффективности в текущей системе энергоснабжения.

В условиях высокого износа советской энергосистемы, потери ее эффективности и возможных экономических выгод становится оправданным переход большого числа потребителей, в основном крупных, от централизованного теплоснабжения к технологиям распределенной генерации, пока без отпуска избыточной электроэнергии на оптовый рынок. Основой распределенной генерации в России все еще остаются газопоршневые установки. Однако представление о распределенной генерации постепенно расширяется и вбирает в себя новые ключевые термины и концептуальные представления. Технологическую базу Россия подтягивает как на государственном уровне, составляя и выполняя план мероприятий по достижению поставленных целей, так и за счет коммерческих компаний и компаний с государственным участием, локализуя производство оборудования и разрабатывая аналогичные или инновационные технологии для энергетического сектора.

Развитие технологий распределенной генерации может быть одним из ключевых направлений НТП и определять в том числе место России в энергопереходе. Распределенная энергетика на российских технологиях совместно с поставками российского СПГ могут быть одним из вариантов продвижения России на мировом рынке.

Распространение распределенной энергетики предполагается в странах Азии, Африки, которые относятся к дружественным странам. Россия может принять участие в их электрификации.

Кроме того, могут быть дополнительные эффекты от развития распределенной энергетики – снижение доли импорта в электротехнической продукции и в энергооборудовании, повышение эффективности энергоснабжения в изолированных энергосистемах.

Список литературы

1. Бердников, Р. Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью / Р. Бердников, Д. Холкин, И. Чаусов // Энергетическая политика. – 2023. – № 1(179). – С. 94-106. – DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_94.
2. Борисов М.Г. Энергетический переход и геополитика // Восточная аналитика. 2020. №1. с. 7-16.
3. Башмаков И.А., 2016, Использование энергии и энергоэффективность в российских зданиях. Как сделать их низкоуглеродными? // Энергосвет №.2 (33) 2014.
4. Уразаев Д. Р. Интеллектуальная система управления распределенной энергетикой (2019) / Уразаев Д. Р., Брагин Д. С., Зыков Д. Д., Поспелова И. В. // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов
5. Бухгольц Б.М. Smart Grids – основы и технологии энергосистем будущего / Б.М. Бухгольц, З.А. Стычински; пер. с англ. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 461 с.
6. Хохлов А. Распределенная энергетика в России: потенциал развития // Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф., Холкин Д., Дацко К. Энергетический центр Московской школы управления Сколково, 2018 – 89 с. Режим доступа: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (дата обращения: 10.09.2023)
7. Борисов М. Г. Распределенная энергетика в Афро-Азиатских странах: географические и социальные аспекты // Восточная аналитика. 2020. № 2. С. 25–35. – DOI 10.31696/2227-5568-2020-02-025-035.
8. Energy Sector Management Assistance Program. 2022 Mini Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers // World Bank, 2022. Режим доступа: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/b53273b6-b19a-578e-8949-8dc5c7a3cd79/full> (дата обращения 10.06.2023)
9. Маркова В. М., Чурашев В. Н. Децентрализация энергетики: интеграция и инновации // ЭКО. 2020. № 4. С. 8-27. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2020-4-8-27
10. Kose M. Ayhan, Ohnsorge Franziska. Falling Long-Term Growth Prospects: Trends, Expectations, and Policies // World Bank, 2023. Режим доступа: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/fe0880d1-ffbf-430f-bab4-d3dbdda7470e/content> (дата обращения 19.06.2023)
11. Мастепанов А. Электроэнергетика юга Африки: проблемы и тенденции развития / А. Мастепанов, А. Сумин, Б. Чигарев // Энергетическая политика. – 2023. – № 7(185). – С. 94-109.
12. Зайченко В. Новые технологии энергоутилизации биомассы как драйверы локальной энергетики / В. Зайченко, В. Бушуев, Н. Новиков, Д. Соловьев // Энергетическая политика. – 2022. – № 12(178). – С. 102-111. – DOI 10.46920/2409-5516.2022_12178.102
13. Губанов М. О создании фонда развития локальных энергосистем / М. Губанов, В. Куишкина, А. Широков // Энергетическая политика. – 2023. – № 9(188). – С. 70-83. – DOI 10.46920/2409-5516_2023_9188_70.
14. Смирнов, М. Новая энергетика: возможности и перспективы / М. Смирнов // Энергетическая политика. – 2022. – № 3(169). – С. 54-61. – DOI 10.46920/2409-5516_2022_3169_54.
15. Селезнев, В. Развитие распределенной генерации на Дальнем Востоке и в Арктике / В. Селезнев, М. Губанов, В. Потемкин // Энергетическая политика. – 2022. – № 7(173). – С. 58-69. – DOI 10.46920/2409-5516_2022_7173_58.

Для цитирования: *Терентьева А.С. Тарасов Е.Я.* Анализ развития рынка распределенной энергетики в мире и возможные направления развития в России // Научные труды. Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2023. № 2. С. 116-137.
DOI: 10.47711/2076-3182-2023-2-116-137.

Summary

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE DISTRIBUTED ENERGY MARKET IN THE WORLD AND POSSIBLE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT IN RUSSIA

TERENTYEVA Alexandra S., as.terentyeva@yandex.ru, Junior Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences (IEF RAS), Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7366-8189>

TARASOV Evgeny Ya., tarasov10201@gmail.com, Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov; Laboratory assistant, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences (IEF RAS), Moscow, Russia, <https://orcid.org/0009-0007-7902-3676>

Abstract. The article analyzes the distributed energy market and its structure of distributed generation and renewable energy sources, energy storage systems, mini-grids, demand management systems in the world and Russia. As part of the assessment of the state and prospects for the development of distributed energy technologies in the world and in Russia, an analysis of publications on this topic was made. Estimates are given of the prospects for the development of distributed energy and its segments in the world and in Russia, as well as proposals for the development of technologies for distributed energy in Russia.

Keywords: distributed energy, smart grids, energy storage, renewable energy, demand management, energy efficiency, distributed generation, electric vehicles, microgrids

For citation: *Terentyeva A.S., Tarasov E.Ya.* Analysis of the Development of the Distributed Energy Market in the World and Possible Directions of Development in Russia // Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences. 2023. No. 2. Pp. 116-137.
DOI: 10.47711/2076-3182-2023-2-116-137