

УДК 621.311

Аксенова Анастасия Александровна, магистрант гр. ЭПм-211
(КузГТУ, г. Кемерово)
Научный руководитель Паскарь Иван Николаевич, старший преподаватель
(КузГТУ, г. Кемерово)

Aksenova Anastasia Aleksandrovna, undergraduate, lecturer KuzSTU
(KuzSTU, Kemerovo)
Paskar Ivan Nikolaevich, senior lecturer KuzSTU
(KuzSTU, Kemerovo)

**СЦЕНАРНЫЕ ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ГЕНЕРАЦИИ В КРАТКОСРОЧНОЙ, СРЕДНЕСРОЧНОЙ И
ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВАХ****SCENARIO FORECASTS OF THE DEVELOPMENT OF
DISTRIBUTED GENERATION IN THE SHORT, MEDIUM AND LONG
TERM**

В работе рассмотрены предпосылки развития распределенной генерации, технологические тренды и тенденции, связанные с ней, а также критерии, определяющие необходимость внедрения распределенной генерации. Составлено три прогнозных сценария на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды.

The article considers the prerequisites for the spread of distributed generation, technological trends and trends associated with it, as well as criteria determining the need for the introduction of distributed generation. Three forecast scenarios for the short-term, medium-term and long-term periods have been compiled.

Введение

Сегодня индустриально развитые страны получают большую часть электрической энергии централизованно на электростанциях. Электрические станции, обладающие большой мощности, могут передавать электроэнергию на большие расстояния, а также обладают хорошими экономическими показателями благодаря «эффекту масштаба». Место строительства большинства таких станций выбирают исходя из экологических, географических, экономических и геологических факторов, а также учитывают требования безопасности и охраны окружающей среды. Следовательно, все крупные электрические станции строятся вдали от потребителя, что подразумевает большие траты на транспортировку электроэнергии.

Энергетика будущего предполагает строительство источников энергии вблизи потребителей, поэтому большую популярность набирает распределенная генерация электроэнергии.

Распределенная энергетика является ключевым звеном «энергетического перехода» от централизованных систем электроснабжения к децентрализованным системам. Многие страны мира активно работают над развитием децентрализованной энергетики, а именно распределенной генерации энергии (РГ) [1]. Нет единого заданного термина для понятия «распределенная генерация» ни в России, ни за рубежом (табл. 1).

Таблица 1

Вариации определения понятия РГ

РГ (объекты РГ) – это	Источник определения
Генерирующий объект, вырабатывающий электроэнергию в месте нахождения потребителя или обеспечивающий поддержку распределительной сети, подключенный к сети при напряжении уровня распределения	Международное энергетическое агентство [2]
Совокупность электрических станций, которые приближены к месту потребления энергии, а также подключены либо напрямую к потребителю, либо к распределительной сети, если таких потребителей несколько	Сколково [3]
Модульные генерирующие объекты малой мощности, расположенные вблизи от потребителя, что позволяет избежать дорогостоящих инвестиций в системы передачи и распределения, а также обеспечивает надежную подачу электроэнергии лучшего качества	Министерство энергетики США (US. DOE) [4]

В данной статье объектами распределенной генерации считаются электростанции, расположенные вблизи потребителей, подключенные к распределительной электрической сети напряжения 110 кВ и ниже, либо поставляющие электроэнергию непосредственно потребителям. Эти электростанции состоят из одной или нескольких генерирующих установок и работают совместно с энергосистемой, автономно или изолированно и производят все виды энергии из любых первичных источников, включая ВИЭ. Электрическая станция может иметь в точке общего присоединения суммарную установленную мощность до 25 МВт.

По данным Росстата, в 2016 г. в России работало 36 000 электростанций с максимальной мощностью 25 МВт и общей мощностью 13 ГВт. В области децентрализованного энергоснабжения эксплуатируется примерно 8,5 ГВт. В сравнении с 2006 г. прирост мощности составил примерно 3 ГВт.

Появление на российском рынке большого количества когенерационных установок для РГ, важность внедрения цифровых и аппаратных решений для регулирования местной генерации, локального спроса и ограниченной передачи энергии из общей сети, а также увеличивающейся стоимости услуг по передаче электроэнергии для промышленных потребителей на различных тарифных уровнях напряжения, спровоцировало начало реализации

пилотного проекта по созданию активных энергетических комплексов (АЭК) [5].

АЭК представляет собой особый организационный и технологический формат — микроэнергетическая ячейка (микрогрид), которая связана с Единой Энергосистемой, включающей в себя не участвующую в оптовом рынке генерацию общей мощностью до 25 МВт, и потребителями, которыми являются только промышленные предприятия, административно-деловые и торговые центры [5].

В общем случае систему электроснабжения, как централизованную, так и децентрализованную, можно представить в виде древовидной структуры (рис. 1), наглядно представляющей процессы передачи электроэнергии потребителям [6].

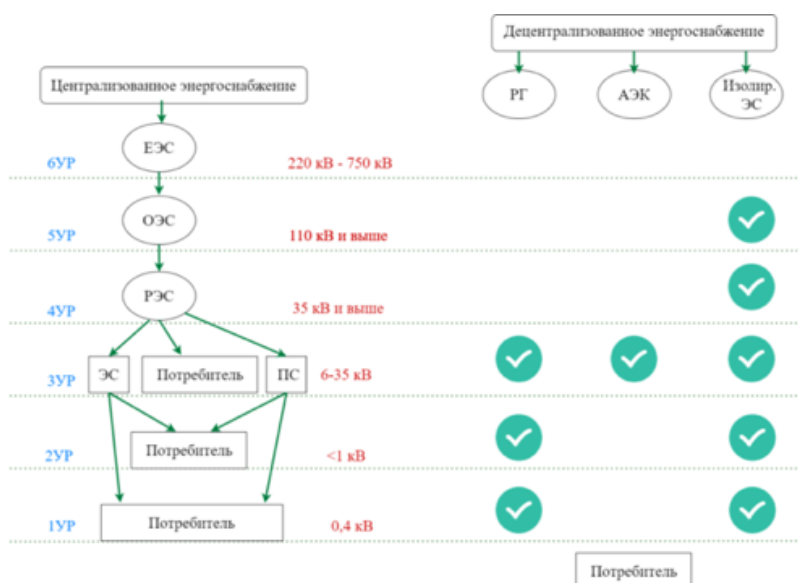


Рис. 1 Структурная схема распределения объектов централизованного и децентрализованного электроснабжения по уровням

Централизованная энергосистема представляет собой иерархию: шестой уровень - ЕЭС, пятый уровень - ОЭС, четвертый уровень - РЭС, начиная с третьего уровня - подстанции и энергетические станции, которые также могут занимать и более высокие положения уровней схемы. Децентрализованное энергоснабжение в свою очередь не имеет четкой иерархической структуры и разделяется на три возможных варианта функционирования, каждый из которых работает на определенных уровнях напряжения.

Существует ряд трендов и тенденций, которые способствуют развитию распределенной генерации.

1. Рост тарифов на электроэнергию, что способствует появлению тренда на собственную генерацию [7].

2. Тренд на распределенную генерацию, так как собственная генерация станет выгоднее покупки электроэнергии из внешних источников [3].

3. Активно развивается тренд на распространение цифровых сетей и интеллектуальных систем управления. Все большие обороты набирает тренд на использование новых финансовых технологий в энергетике. Распространение микрогридов позволило появиться общемировому тренду на использование промышленных и коммерческих микрогридов.

4. Тренд на декарбонизацию, связанный с потребностью населения в экологически чистой среде, а также ежегодным ростом выбросов CO₂.

5. Использование ВИЭ. В результате соглашения, принятого по итогам Рамочной конвенции ООН об изменении климата, ЕС взяло курс на формирование углеродно-нейтрального пространства уже к 2050 году. В РФ также наблюдается переход от угля к газу, от газа к ВИЭ.

Рассмотрим успешно реализованные кейсы по внедрению распределенной генерации в различные сферы жизнедеятельности человека и их соотношение с современными трендами в энергетической отрасли (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение трендов РГ с реализованными кейсами компаний

Кейсы компаний	Тренды
Объект - энергетический центр в населенном пункте (город, поселок, микрорайон). Его мощность - от 500 кВт до 30-50 МВт. Применяемая технология – чаще всего газопоршневая, реже газотурбинная. Когенерация. Энергетические центры располагаются в микрорайонах Южно-Сахалинска, Новосибирска, Подмосковья [4]. Основным продуктом является тепловая энергия для теплоснабжения частных домохозяйств.	<ul style="list-style-type: none"> • РГ • Производство ЭЭ и ввод новых установленных мощностей
Энергосистема завода ABB LONGMEADOW PARK (Йоханнесбург, Южная Африка) [8] представляет собой 4 дизельных генератора установленной мощностью 750 кВА. В 2016 году реконструировали систему путем введения 750 кВт солнечной генерации и системы накопления 1 МВА/380 кВт·ч PowerStore. Таким образом, производство получило возможность продолжения работы в моменты перебоев в электроснабжении, экономия затрат на электроэнергию составила 25% (от 610 000 долларов США до 460 000 долларов США), снизилась плата за пиковые нагрузки, а также разработанное решение оказало положительное влияние на экологию (снижение выбросов CO ₂ на 1000 тонн в год).	<ul style="list-style-type: none"> • Декарбонизация • Потребление ВИЭ • Снижение цены на ЭЭ • Производство ЭЭ и ввод новых установленных мощностей • РГ
На шахте Degrussa (Австралия) [9], находящейся вдали от источника питания, исторически сложилась энергосистема мощностью 19 МВт, работающая на дизельном топливе. В 2013 году, при расширении деятельности компании, были введены 10 МВт солнечной генерации и система накопления энергии 6 МВт/2 МВт·ч. Данное решение позволило шахте работать в автономном режиме, снизить расход топлива на 6 миллионов литров, создать ряд новых рабочих мест (как на этапе строительства, так и на этапе текущей эксплуатации), а также оказало положительное влияние на экологию (снижение выбросов CO ₂ на 18 500 тонн в год).	<ul style="list-style-type: none"> • Декарбонизация • Потребление ВИЭ • Производство ЭЭ и ввод новых установленных мощностей • РГ
Компания Fortum Corporation (Финляндия) объединила 70 частных домохозяйств в ВиЭС [10], в которых тепло и горячая вода обеспечиваются электродкотлами. Если в энергосистеме возникает дефицит мощности, то температура воды в котлах слегка уменьшается, но не опускается ниже	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение цены на ЭЭ • Цифровизация • РГ

нормированных показателей. Диспетчерам энергосистемы представилась возможность управления мощностями бытовых потребителей с целью регулирования нагрузки энергетической системы.	
--	--

Сценарный анализ развития распределенной генерации на территории Российской Федерации следует рассматривать в краткосрочной (до 2025 года), среднесрочной (до 2030 года) и долгосрочной (до 2035 года) перспективах. При составлении прогноза необходимо учесть наиболее значимые показатели, влияющие на РГ.

К 2025 году в России будет наблюдаться увеличение темпов регионализации и конкуренция на менее централизованном глобальном рынке.

Чтобы обеспечить условия Парижского соглашения от 12 декабря 2015 года, была подготовлена стратегия долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов [14]. Стратегия определяет меры по достижению цели контроля за выбросами парниковых газов и направлена на обеспечение поступательного социально-экономического развития РФ, характеризующегося низким уровнем выбросов парниковых газов. Темпы роста энергоэффективности будут обеспечиваться за счет принятия мер по масштабному внедрению энерго- и ресурсосберегающих технологий во всех отраслях экономики, кардинальному снижению потерь энергии.

В области РГ в перспективе до 2035 г. не ожидается технических и технологических революций и прорывов. Все технологии РГ будут обладать различной скоростью внедрения в энергосистему РФ.

Перспективными направлениями развития РГ на основе углеводородного топлива являются применение технологий ГТУ и ГПА благодаря возможной реконструкции и модернизации муниципальных котельных в мини ТЭС/ТЭЦ. Широкое распространение может приобрести такие технологии, как топливные элементы (ТЭ) и ГПУ посредством модернизации индивидуальных систем отопления крупных торговых центров или домов.

Одним из перспективных направлений развития РГ на базе ВИЭ является увеличение КПД, снижение стоимости и повышение надежности ЭС. Одним из катализаторов развития РГ является внедрение технологий микрогенерации на основе ВИЭ. Самым большим потенциалом развития обладают технологии получения электроэнергии из биомассы.

Широкое распространение РГ на основе ВИЭ создает фундамент для появления технологии виртуальной электростанции, микросетей и использования технологии блокчейн в энергетике. Технология виртуальной электростанции служит агрегатором РГ [10], перспектива её применения зависит от количества объектов РГ и широты их распространения. Одной из передовых технологий для промышленных потребителей служит технология АЭК. АЭК – эффективное комплексное решение по энергоснабжению коммерческих и промышленных потребителей электроэнергии за счет использования

технологий РГ [16]. До 2023 г. планируется запустить пилотные площадки для АЭК.

Помимо технологий генерации, управления и накопления РГ существуют также вспомогательные технологии, оказывающие ключевое влияние на развитие РГ в РФ. А именно использование технологий прогнозирования выработки РГ, утилизации солнечных панелей, компактных ЛЭП, управляемых ЛЭП переменного тока (FACTS), высокотемпературных проводов с повышенной пропускной способностью.

К 2030 году завершится формирование техноэкономических блоков стран и начнется конкуренция между ними, произойдет переход к глобализации и наступит новый технологический цикл, новая экономика будет строиться на базе цифровизации.

СНЭ с наибольшей вероятностью будут развиваться по направлению «Интернет энергии», которое подразумевает применение СНЭ в составе объектов РГ с целью накопления «запасной» энергии.

В случае успешного пилотного запуска АЭК, данная технология управления будет масштабироваться, также будут активно внедряться ВиЭС, микрогриды. Будут развиваться ЭССО (энергоснабжающие самобалансирующие организации) для решения задач оперативно-технологического управления энергообъектами и режимами АЭК.

В 2035 году страны будут бороться на «свободные» от влияния сферы – космос и океан, а страны, «проигравшие» в глобализации, будут создавать новые объединения.

Действие программы ДПМ ВИЭ-2 будет актуально с 2025 по 2035 гг., а суммарный объем выделенных средств составляет примерно 400 млрд. руб. Целью на 2036 г. является достижение паритета ВИЭ и традиционной генерации, что позволит развиваться без федеральной поддержки для ВИЭ.

Технологии генерации будут развиваться в том же ключе, что и в среднесрочном сценарии. Дальнейшее развитие технологий выработки электроэнергии установками РГ на базе углеводородного топлива направлено на увеличение топливной эффективности и улучшения экологических характеристик всех генерирующих установок.

СНЭ будут использоваться преимущественно с технологиями генерации на основе ВИЭ. Направлением развития всех СНЭ является увеличение мощности и емкости этих систем. Технологии накопления электроэнергии будут эффективно развиваться за счет работы РГ на базе ВИЭ в составе ЕЭС. СНЭ большой мощности могут эффективно решать режимные, противоаварийные и общесистемные задачи.

ВиЭС будут развиваться на основе ВИЭ, продолжится распространение АЭКов и микрогридов по стране (в случае их успешного пилотного запуска). Однако применение технологий РГ на базе ВИЭ является достаточно дорогостоящим процессом. Основным недостатком ВИЭ является

дороговизна всех технологий выработки электроэнергии и относительно низкий КПД.



Рис. 2 Прогнозные периоды РГ [11-13]

Заключение

Сегодня наиболее распространенной технологией РГ является генерация на углеводородном топливе. Если стоит задача снижения стоимости ЭЭ, следует установить собственные источники генерации (до 25 МВт), основанных на углеводороде. РГ на углеводородной основе также найдет свое применение для реконструкции и модернизации городских котельных.

С развитием РГ в 2025 году произойдет увеличение темпов роста объектов РГ на основе ВИЭ. Это связано, во-первых, с уменьшением стоимости технологий и повышением конкурентоспособности, во-вторых, с увеличением степени государственной поддержки РГ. Однако количество объектов РГ на базе ВИЭ в 2025 году будет значительно меньше, чем количество объектов РГ на базе газовой генерации. По мере роста потребления теплоэнергии будет увеличиваться количество строящихся домов, а также произойдет развитие тепловой составляющей энергетики. Кроме того, рост спроса на теплоэнергию вызовет развитие когенерации в городах.

РГ является хорошим дополнением к централизованной энергетике, но к 2025 году будет не готова полностью заменить её. Дополнительно, внедрение РГ позволит создать новые рабочие места в перспективе на 2030-2035 гг. Для эффективного использования РГ необходимо изменение системы управления энергообъектами, что спровоцирует цифровизацию отрасли. Для некоторых энергообъектов, использующих РГ подойдет новая организационно-правовая модель – АЭК, которая к 2025 году перейдет из пилотной стадии в стадию активного внедрения.

К 2030-2035 гг. существенно сократится доля централизованного энерго- и теплоснабжения. На скорость внедрения технологий РГ будут влиять такие факторы: техническая оснащенность региона, наличие необходимых специалистов, потенциал использования местных ресурсов и близость источников генерации и потребителей, заинтересованных в развитии РГ.

Активное внедрение РГ на территории РФ сможет обеспечить не только децентрализацию энергосистемы, но и даст толчок для российского производства по выпуску необходимого оборудования. Таким образом,

стремительное развитие энергетики будет давать стимул развиваться и другим смежным отраслям экономики.

Список литературы

1. Hansen C.J., Bower J. An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies. Oxford Institute for Energy Studies & Dept. of Geography, Oxford University, 2004. 59 p.
2. Электричество // МЭА – Международное Энергетическое Агентство. – URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>
3. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А.Хохлов, Ю. Мельников, Ф. Веселов [и др]. – М.: Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО. – 2018. – 89 с. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOV_O_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf
4. Электричество // Министерство энергетики США (US. DOE. – URL: <https://www.energy.gov/science-innovation/electric-power>
5. Active distribution networks (2008) // EnergyPolicy. 2008. Vol. 36, № 6. P. 4346–4351
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий как объект исследования и управления // Эффективность и качество электроснабжения промышленных предприятий: V международная научно-техническая конф.: 75-летию призыв. гос. техн. ун-та посвящается: сб. работы. – Мариуполь: Вид-во ПДТУ, 2005. – 337 с.
7. Рост тарифов в России. Прогноз до 2035 года / ООО «Центр энергетических инноваций» – 2020. – URL: http://www.altecology.ru/article/rost_tarifov_v_rossii_prognoz_do_2035_goda/
8. Microgrids for Commercial and Industrial Companies. – World Business Council for Sustainable Development, 2017
9. ENEA Consulting, Developing mini-grids in Zambia.
10. Реальные выгоды виртуальной электростанции. – URL: <https://peretok.ru/articles/innovations/13216/>
11. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года // URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/a5f3add5deab665b344b47a8786dc902/prognoz2036.pdf>
12. Энергетическая стратегия РФ до 2035 года // Министерство энергетики РФ. - URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>
13. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/daba1916de07edfd903b735de9b37f0ab4120ddb/
14. Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года // URL:

https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf

15. В России началась эпоха активных энергетических комплексов // АНО «Платформа НТИ» – 2020. – URL: <https://ntinews.ru/news/khronika-rynkov-nti/energynet/v-rossii-nachalas-epokha-aktivnykh-energeticheskikh-kompleksov.html>