



Перспективы развития распределенной генерации тепловой и электрической энергии в России

С. В. Голобоков

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

А. А. Тихомирова

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

К. А. Степанова

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

Аннотация. В работе представлены перспективы внедрения распределенной генерации электрической и тепловой энергии в системы электроснабжения предприятий. Обоснована актуальность применения объектов распределенной генерации, удаленных от магистральных сетей. Определены критерии оптимальности возможных конфигураций электрической сети с распределенной генерацией.

Ключевые слова: распределенная генерация, энергоснабжение, малая генерация, электрическая энергия, тепловая энергия.

Development prospects for distributed generation of electrical and thermal energy in Russia

S. V. Golobokov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

A. A. Tikhomirova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

K. A. Stepanova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

Abstract. The paper presents integration prospects for distributed generation of electrical and thermal energy into enterprise power supply systems. The relevance of using distributed generation objects, remote from backbone networks, is justified. The optimal configuration criteria of possible electrical grid configurations with distributed generation have been defined.

Keywords: distributed generation, energy supply, small-scale generation, electrical energy, thermal energy.

Распределенной генерацией (РГ) считаются объекты и сети, которые находятся в непосредственной близости от конечного потребления, вне зависимости от того, кто является их владельцем [1]. Развитие распределенной генерации в России носит во многом стихийный, не контролируемый государством характер, что может нанести существенный вред энергетической безопасности страны.

Переход потребителей от централизованного энергоснабжения к собственной генерации – это общемировая тенденция. Что представляет собой распределенная генерация в России? На сегодняш-

ний день можно выделить три категории генерирующих мощностей, которые подпадают под широкое определение распределенной генерации:

1. Блок-станции, источник электрической и тепловой энергии, расположенный на территории или в непосредственной близости от промышленного предприятия и принадлежащий владельцам этого предприятия на правах собственности или ином законном основании. Блок-станции, как правило, выгодны их владельцам, поскольку могут функционировать за счет побочных продуктов основного производства (попутный или доменный газ и т.п.) или используются для утилизации большого объема отходов.

2. Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) предприятий и рабочих поселков. Ведомственные ТЭЦ и централизованное теплоснабжение населенных пунктов зачастую обусловлены отсутствием других объектов генерации и удаленностью от магистральных линий. Комбинированное производство электрической энергии (ЭЭ) и тепла [2] повышает коэффициент использования топлива в среднем на 30 %. За счет такого эффекта существенные затраты и неудобства при сооружении и эксплуатации теплосетей становятся приемлемыми. Это главная причина, по которой когенерация широко пропагандируется и поощряется сейчас на Западе.

3. Объекты малой и средней генерации, к которым можно отнести газотурбинные (ГТУ) и газопоршневые (ГПУ) электростанции, а также электростанции на возобновляемых источниках электроэнергии (ВИЭ). Этот класс в России пока еще не получил широкого распространения, имеющиеся объекты РГ малочисленны, имеют ограниченную мощность.

Распространение малой и средней генерации в энергосистемах потребителей в последнее время идет весьма активно. По данным одного из трех ведущих производителей оборудования для такого рода объектов – фирмы «Катерпиллер», к настоящему моменту ею поставлено и установлено по всему миру более 14600 ГТУ и ГПУ различной мощности. Состав заказчиков такого оборудования весьма разнообразен – от военных аэродромов до целлюлозно-бумажных комбинатов [3].

Понятие «распределенная энергетика» включает в себя множество технологий и приложений. Исследователи считают, что распределенная энергетика – это сектор энергетического комплекса, включающий в себя малые генерирующие установки, которые могут работать автономно или быть подключены в общую сеть. Подразумевается наличие множества потребителей, которые производят тепловую и электрическую энергию для собственных нужд и могут направлять ее излишки на продажу в общую электрическую или тепловую сеть [3].

Внедрение объектов РГ в некоторых случаях может изменить условия для социально-экономического развития территории, увеличить объем инвестиций и выступает толчком технологического развития. Положительные эффекты можно условно поделить на три группы:

- экономические;
- социальные;
- технологические.

К экономическим и социальным эффектам относятся:

1. Комплексное решение проблем энергообеспечения; выработка модульными электростанциями тепловой и электрической энергии.

2. Сочетание различных видов топлива для выработки энергии, возможность использовать продукты и отходы основного производства.

3. Снижение потерь на транзит по сравнению с потерями в магистральных сетях и, соответственно, снижение цен на ЭЭ.

4. Широкие перспективы энергоснабжения потребителей, удаленных от магистральных сетей или изолированных от ЕЭС России.

5. Малые капитальные затраты, инвестиционная привлекательность объектов распределенной энергетики для малого и среднего бизнеса.

6. Экономия затрат на развитие электростанций и сетевого комплекса, где строительство таких объектов экономически нецелесообразно.

Технологические эффекты внедрения РГ:

1. Повышение энергетической безопасности предприятий за счет увеличения доли местных энергоресурсов, применения альтернативной энергетики и отказа от централизованных поставок топлива.

2. Оптимизация управления энергоблоками за счет выработки ЭЭ для конкретного потребителя, гибкого изменения мощности и создания необходимых технологических резервов с учетом производственных циклов и изменения нагрузок потребителя.

3. Повышение надежности электроснабжения потребителя в первую очередь за счет сокращения длины линий электропередач (ЛЭП) и расположения объектов РГ вблизи центров электрических нагрузок.

4. Возможность использования технологии «SmartGrid» для гибкости управления большим числом объектов генерации в энергосистеме.

5. Улучшение экологической ситуации путем снижения выбросов парниковых газов. Экологический эффект может быть получен за счет снижения потерь на транзит, снижения объемов генерации, применения газового топлива и внедрения ВИЭ.

РГ применяется для достижения многих целей. Во-первых, это использование РГ автономно, как альтернатива единой энергосистеме (ЕЭС). Во-вторых, это возможность применения в качестве резервного энергоснабжения [3]. Мощность, вырабатываемая РГ, может быть использована для перекрытия пиковых нагрузок при параллельной работе с ЕЭС. Возможно осуществление экспорта ЭЭ в распределительную сеть, в постоянном режиме или по согласованному графику. Объекты РГ могут принимать участие в регулировании напряжения за счет дополнительной выработки реактивной мощности. В-третьих, объекты РГ идеально подходят как аварийные источники при ликвидации системных аварий, например в результате стихийных бедствий или техногенных катастроф.

Распределенная генерация обладает существенными недостатками:

1. Прогнозирование мощности ВИЭ затруднительно, для обеспечения заданной надежности требуется держать горячий резерв классических электростанций. Это сводит на нет экономический эффект от использования ВИЭ. Для повышения точности прогнозирования таких систем используются сложные математические модели.

2. Санкционная политика западных стран в отношении России; запрет на поставку многих видов оборудования; отсутствие технологий и собственного производства генерирующего оборудования.

3. Дефицит кадров. Станции на возобновляемых источниках энергии из-за новизны технологий достаточно трудно проектировать, возникают вопросы при эксплуатации и ремонтных работах.

4. Недостаток практического опыта. Для бесперебойной работы РГ на ВИЭ требуется уделять большое внимание повышению надежности электроснабжения, регулированию частоты и напряжения в таких сетях.

5. Параллельная работа большого числа объектов РГ с ЕЭС мало изучена, расчет устойчивости энергосистемы и переходных процессов до сих пор требует научной проработки.

6. Проектирование релейной защиты усложняется, так как сети с множеством генерирующих источников имеют более сложную конфигурацию и все связи становятся двухсторонними.

7. Негативное отношение к РГ региональных и сетевых компаний из-за лишения значительной части доходов от промышленных предприятий.

На сегодняшний день говорить о глобальном переходе к РГ в России достаточно рано. В обозримой перспективе централизованные системы энергоснабжения будут доминирующими [4]. Распределенная генерация будет занимать ниши в тех сферах, куда централизованная генерация по разным причинам не пришла или не получила должного развития.

Большие возможности развития РГ предоставляют территориальные особенности нашей страны. РГ открывает огромные перспективы для повышения эффективности функционирования систем энергоснабжения, оказывая помощь ЕЭС России в энергодефицитных районах.

Ввиду значительной протяженности ЛЭП РГ вносит большой вклад в формирование оптимальных энергетических балансов на уровне регионов. Всего в России работает около 50 тыс. установок РГ, по сравнению с другими странами это ничтожно мало [5]. В изолированных регионах энергоснабжение полностью осуществляется объектами малой генерации.

Ориентация энергетики на использование исключительно мини-ТЭЦ нерациональна по следующим причинам. Во-первых, электроснабжение и теплоснабжение большинства потребителей в настоящее время обеспечиваются существующей энергетической инфраструктурой. Отказ от этой инфраструктуры будет означать необходимость строительства большого числа мини-ТЭЦ, линий топливоснабжения и создания системы управления объектами РГ. Потребуется реорганизация электрических распределительных сетей и сетей теплоснабжения [3].

Во-вторых, придется решать вопрос надежности электроснабжения и теплоснабжения потребителей, разрабатывать механизмы взаимного резервирования различных источников энергии, определять способы энергоснабжения удаленных потребителей.

Большие объемы работ потребуют значительных объемов финансирования и приведут к экономическим потерям. Наиболее перспективным направлением считается создание комбинированной системы распределенной генерации, в которой в узлах существующей энергосистемы размещаются тепловые электростанции малой мощности.

В научной литературе одной из важнейших задач развития технологий децентрализованной энергетики считается обоснование развития структуры районных распределительных сетей при условии использования распределенной генерации.

Высокие риски на этапе предпроектных работ не позволяют привлечь частный капитал и существенно расширить сферу применения РГ. Для повышения инвестиционной привлекательности РГ требуется выполнить технико-экономическое обоснование и знать показатели в процессе эксплуатации, пока объект еще не построен. С этой целью разработана математическая модель интегрирования РГ в существующие сети.

Электрическая сеть в модели задается в виде избыточного графа, узлами которого являются потребители электрической энергии, подстанции и генерирующие установки, а ветвями – ЛЭП. Каждый узел характеризуется установленной мощностью потребителей электроэнергии P_i и установленной мощностью потребителей тепловой энергии $Q_{\max i}$.

Целевая функция определяется как сумма капитальных затрат на сооружение РГ, капитальных затрат на строительство элементов сети и затрат на подключение к основной сети:

$$Z = A + B + C + D,$$

где A – капитальные затраты на сооружение элементов сети; B – капитальные затраты на сооружение РГ; C – капитальные затраты на подключение к основной сети; D – капитальные затраты на теплоснабжение потребителей.

Выбор варианта исполнения ЛЭП и генераторов осуществляется с помощью множеств двоичных переменных x_j , k и x_{gi} , m , определяющих строительство ЛЭП и РГ соответственно:

$$A = \sum_j \sum_k l_j C_k x_j, k;$$

$$B = \sum_i \sum_m C_{gm} x_{gi}, m,$$

где l_j – длина ветви j ; C_k – стоимость 1 км линии (вариант исполнения k); x_j , k – двоичная переменная, определяющая решение строительства линии варианта исполнения k в направлении ветви j ; C_{gm} – стоимость возведения генератора (вариант исполнения m); x_{gi} , m – решение о вводе генератора (вариант исполнения m в узле i).

Капитальные затраты на технологическое присоединение к основной сети рассчитываются, исходя из установленной мощности потребителей электроэнергии, подключенных к нулевому узлу:

$$C = G_0 C_c,$$

где G_0 – генерация в узле 0, которая соответствует мощности, получаемой из основной сети; C_c – стоимость подключения к основной сети 1 кВт расчетной мощности.

Расходы на теплоснабжение потребителей рассчитываются, исходя из спроса на тепловую мощность:

$$D = \sum_i q_i C_q,$$

где q_i – спрос на тепловую энергию в узле i ; C_q – удельная стоимость теплогенерирующей установки.

Точка подключения к основной сети представлена как отдельный узел с нулевой установленной мощностью. Целевая функция модели дана в статической постановке, но имеется возможность ввести псевдинамику, разбив расчетный период на несколько временных этапов.

На основе полученной математической модели были выполнены расчеты целевой функции для различных условий – мощности агрегатов РГ, протяженности локальных сетей, стоимости прокладки ЛЭП, стоимости тепловых сетей и тарифов на электрическую и тепловую энергию. Результаты расчетов представлены на рис. 1 и 2.

Анализ результатов показывает, что РГ имеет преимущества по сравнению с централизованным электроснабжением при длине ЛЭП до 13 км. Наибольший экономический эффект достигается при длине ЛЭП до 7,5 км, стоимость распределительных электрических сетей увеличивается в три раза по сравнению с локальными и составляет 5 млн руб.

Стоимость тепловых сетей при длине теплотрассы 4 км равняется 5 млн руб., превышает стоимость модульной котельной в три раза. Эксплуатация модульных котельных при длине теплотрассы

более 5 км экономически невыгодна. Кроме высоких капитальных затрат, резко возрастает величина потерь энергии на транзит. РГ в этом случае теряет свое главное преимущество.

Анализ графиков целевой функции (рис. 2) показывает, что капитальные затраты на объекты РГ практически всегда выше, чем стоимость подключения к сетям централизованного энергоснабжения. По результатам расчетов видно, что стоимость капитального строительства объектов мощностью 3,5 МВт приближается к 100 млн руб. Стоимость подключения к районным электрическим сетям с увеличением мощности растет незначительно. Для мощности 3,5 МВт она составляет 50 млн руб., в два раза меньше, чем РГ. В большинстве случаев эксплуатировать объекты РГ мощностью более 3,5 МВт будет экономически невыгодно.

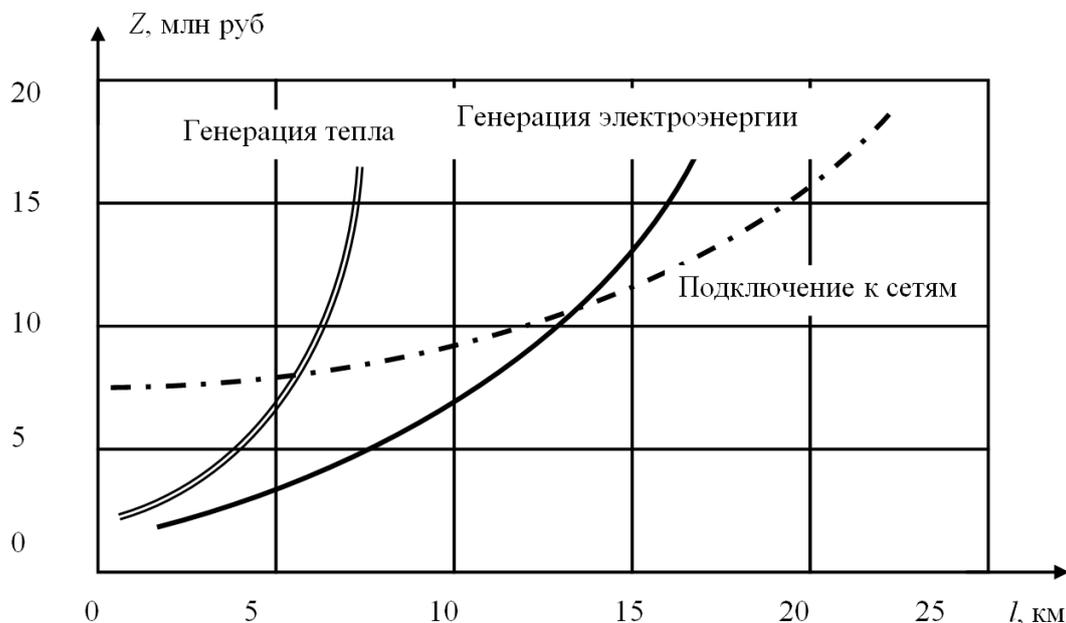


Рис. 1. Зависимость затрат от длины линий

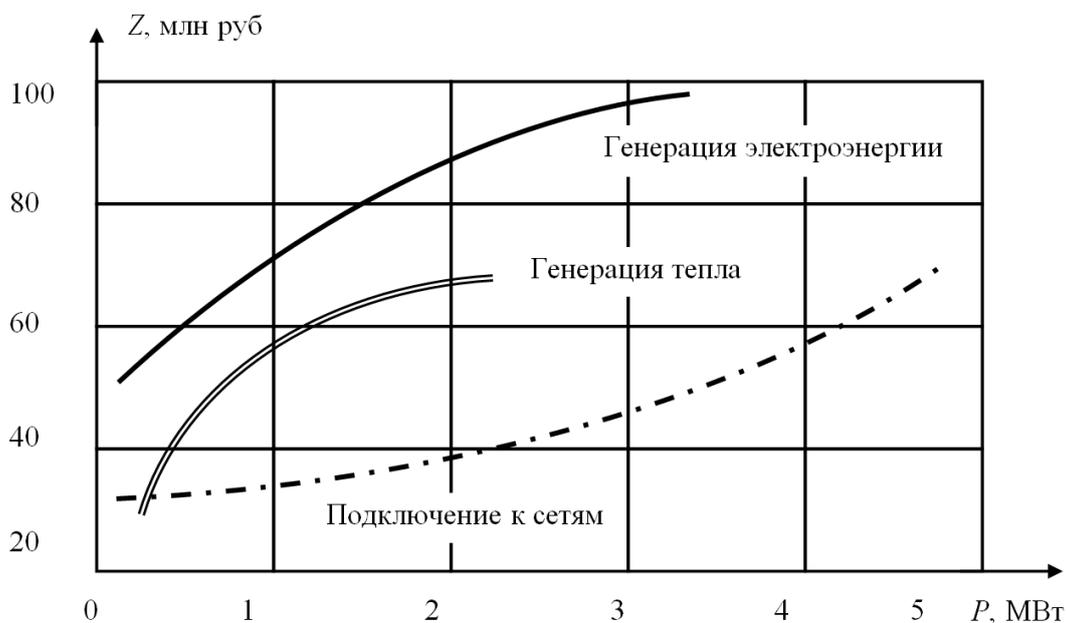


Рис. 2. Зависимость затрат от мощности генерации

РГ будет развиваться в местности, удаленной от магистральных ЛЭП и теплотрасс. Несмотря на высокие капитальные затраты, строительство объектов РГ создает основу для развития производства [3]. Главное преимущество РГ будет в снижении эксплуатационных расходов [4].

При существующей тарифной политике на рынке энергоресурсов себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии собственной генерации почти в три раза меньше, чем покупаемой на розничном рынке [6]. Монополия теплогенерирующих компаний еще более заметна. Себестоимость 1 Гкал тепловой энергии в модульных котельных в пять раз ниже [6].

Разница стоимости годового объема электрической и тепловой энергии, поставляемой по договорам от централизованных источников и РГ, позволяет компенсировать высокие расходы на капитальное строительство. В большинстве случаев срок окупаемости проектов не превышает четырех-пяти лет, что повышает инвестиционную привлекательность объектов РГ. Применение технологии когенерации в объектах РГ усиливает экономические показатели, мини-ТЭС и модульные котельные дополняют друг друга.

Перспективы развития распределенной электроэнергетики связывают со следующими причинами:

1. Развитие технологий в сфере малой генерации. В настоящее время в зависимости от местных источников существуют различные способы производства электроэнергии: солнечные и ветряные электростанции, микротурбины, работающие на природном газе и биотопливе, дизельные и бензиновые генераторы, мини-гидроэлектростанции.

2. Использование цифровых технологий позволяет эффективно отслеживать и управлять работой объектов малой генерации. Развитие интеллектуальных энергетических систем – «SmartGrid», «энергетический интернет», «виртуальная электростанция» – повышает возможности координации работы отдельных генераторов, сетевых организаций и потребителей и в целом способствует повышению надежности и стабильности электроэнергетической системы.

3. Сложная ситуация в экологической сфере. Распределенная электроэнергетика направлена на более эффективное использование ресурсов и минимизацию воздействия на окружающую среду.

Несмотря на видимые преимущества распределенной энергетики на удаленных объектах, она еще не получила широкого распространения. Субъекты малой генерации сталкиваются со значительными барьерами при входе на электроэнергетический рынок, в числе которых:

– несовершенство законодательства в части взаимодействия субъектов малой генерации с сетевыми компаниями. Не отрегулирован порядок и формы технологического присоединения к сетям;

– конкуренция со сбытовыми компаниями, возможность продажи излишков электроэнергии на оптовый и розничный рынки ограничены. Гарантированные поставщики не заинтересованы в появлении конкурентов;

– барьеры экономического характера, обусловленные высокими удельными капитальными вложениями, которые вызывают необходимость поиска финансовых средств и увеличивают инвестиционные риски;

– лоббирование интересов крупных генерирующих компаний на государственном уровне;

– барьеры технологического характера, связанные с трудностями контроля напряжения и управления реактивной мощностью. Серьезными проблемами системного характера являются повышение эффективности электрических защит, усложнение работы системного оператора, уменьшение надежности и стабильности работы энергетической системы.

Выводы

В настоящее время в электроэнергетике России складывается крайне неблагоприятная ситуация. Износ основных фондов, по разным оценкам, составляет от 60 до 70 %. Генерирующее оборудование стареет, многие ТЭС нуждаются в реконструкции или капитальном ремонте. Это потребует колоссальных средств, источники получения которых пока неясны [7]. Возможны участие государства, собственные средства генерирующих компаний, увеличение тарифов или привлечение заемных средств [5].

Одним из путей решения проблемы может быть интенсивное развитие РГ, которая позволит заменить выводимые в ремонт мощности централизованного энергоснабжения. Стоимость объектов РГ существенно ниже, чем крупных ТЭС и ТЭЦ. Работу по модернизации мощностей в энергетике следует проводить планомерно, с разбивкой по времени [7]. Большая часть потребителей, подключенных к РГ, снизит нагрузку на ЕЭС и позволит пройти тяжелый период без серьезных потерь.

Ключевым вопросом развития РГ является снабжение топливом. В большинстве проектов РГ в качестве основного топлива используется природный газ, резервным топливом выступает мазут или сжиженный газ. Строительство магистральных газопроводов к новым объектам РГ также требует значительного финансирования и удорожает стоимость проектов. Поэтому объекты РГ должны быть максимально привязаны к существующим путям поставки топлива.

Вторым вопросом является выделение необходимых объемов в топливном балансе страны. Вывод из эксплуатации крупных ТЭЦ высвобождает значительные объемы топлива, которые могут быть использованы для снабжения объектов РГ. Этот процесс должен быть под контролем государства, иначе монопольное положение поставщиков топлива может привести к скачкам цен и лишает РГ главного преимущества – низкой себестоимости энергоресурсов.

Библиографический список

1. Frase, P. Distributed generation in liberalised electricity markets / P. Frase, S. Morita // International Energy Agency, 9, rue de la Federation. 75739. – Paris, cedex 15, France, Tech. Rep., 2002.
2. Боровков, В. М. Развитие малой энергетики как элемент стратегической программы и энергосберегающей политики России / В. М. Боровков, О. А. Бородина // Энергетическая безопасность : тез. докл. – Санкт-Петербург : ЛенЭкспо, 2005. – С. 10–12.
3. Puttgen, H. B. Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era? / H. B. Puttgen, P. R. Macgregor, F. C. Lambert // IEEE Power Energy Mag. – 2003. – Vol. 1, № 1. – P. 22–29.
4. Ерёмин, Л. М. Комбинированное производство электроэнергии – ключ к повышению энергоэффективности / Л. М. Ерёмин // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2001. – № 4. – С. 3–9.
5. Зингер, Н. М. Развитие теплофикации в России / Н. М. Зингер, А. И. Белевич // Электрические станции. – 1999. – № 10. – С. 2–3.
6. Gellings, C. W. The concept of demand-side management for electric utilities / C. W. Gellings // Proc. IEEE. – 1985. – Vol. 73, № 10. – P. 1468–1470.
7. Blazewicz, S. Reliability and distributed generation / S. Blazewicz, D. Arthur // Little, Inc., Tech. Rep. – 2000.

Образец цитирования:

Голобоков, С. В. Перспективы развития распределенной генерации тепловой и электрической энергии в России / С. В. Голобоков, А. А. Тихомирова, К. А. Степанова // Инжиниринг и технологии. – 2019. – Vol. 4(2). – С. 1–7. – DOI 10.21685/2587-7704-2019-4-2-4.