

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВОЙ АСПЕКТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Развитие глобальной энергетики в XXI веке характеризуется электрификацией всех сфер деятельности человека, появлением и коммерциализацией широкого спектра нетрадиционных энергетических ресурсов и новых технологических решений, которые способны значительно повысить эффективность энергетического сектора и изменить традиционный способ его функционирования.

Распределенная энергетика — один из доминирующих трендов «энергетического перехода», происходящего в форме децентрализации генерации на базе цифровизации и интеллектуализации систем энергоснабжения.

В статье рассматриваются перспективные технологии распределенной энергетики, прежде всего из возобновляемых источников энергии, системы накопления энергии, микросети (microgrids) и микрогенерация.

АВТОР:

Д.А. Россихин,
Филиал
ПАО «Россети» —
МЭС Центра

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозируемый мировой рост потребления энергоресурсов, повышение эффективности генерирующих мощностей на углеводородном топливе, экологическая повестка, появление цифровых технологий, автоматизация технологических про-

цессов, распространение возобновляемых источников энергии и ее накопителей на основе инновационных материалов, а также активное вовлечение конечного потребителя в процессы управления энергопотреблением и генерацией электроэнергии создали предпосылки децен-

#микрогенерация; #микросети; #microgrids; #потребитель; #сетевая компания; #возобновляемые источники энергии; #системы накопления энергии; #распределенная генерация; #распределенная энергетика; #гибридная энергетика



Возобновляемые источники энергии

трализации традиционной системы электроснабжения, появления и развития микросетей со своей собственной генерацией.

Установки малой электрогенерации, обладающие «системной гибкостью», могут эксплуатироваться автономно, подключаться к распределительной сети крупной энергосистемы или объединяться в небольшую автономную сеть — microgrid. Размещение генерирующих установок на площадке потребителя с применением, в том числе технологии хранения и аккумуляции электрической энергии предполагает возможное снижение затрат на электроэнергию, повышение эффективности использования энергетических ресурсов, надежность и качество энергоснабжения. Потребители становятся производителями электрической энергии и участвуют в формировании ее розничного рынка (управление спросом посредством участия в регулировании графика нагрузки), это дает им возможность полного или частичного отказа от использования услуг централизованного электроснабжения.

В свою очередь, развитие распределенной энергетики стимулирует разработку и применение принципиально новых технологий и систем управления сетями на базе современных информационно-коммуникационных ресурсов и методов прогнозирования, обеспечивающих управление конечным энергопотреблением по экономическому критерию, прогнозирование в реальном времени спроса и предложения энергии и ее ценовых атрибутов, двусторонний обмен энергией и информацией, мониторинг и диагностику состояния основных элементов системы, самовосстановление ее работоспособности.

Рассматриваемые в статье технологии распределенной энергетики — системы накопления энергии, микросети и микрогенерация — входят в перечень приоритетных технологий

ПРИНЦИП ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ПОСРЕДСТВОМ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Рис. 1.



для научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России. Необходимость их внедрения и предпосылки развития закреплены в отраслевых нормативных документах: «Энергетическая стратегия развития РФ до 2035 года», «Прогноз научно-технического развития отраслей ТЭК России до 2035 года», концепция «Цифровая трансформация 2030» ПАО «Россети» и других [1,2,3].

Однако отечественная распределенная энергетика находится на начальной стадии развития, что обусловлено в том числе отсутствием до недавнего времени нормативно-правовых актов, регламентирующих взаимоотношения «потребителей-производителей» электроэнергии и сетевых компаний, на которых возложена обязанность по их обслуживанию.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МИКРОГЕНЕРАЦИИ

Наиболее распространенным возобновляемым источником энергии для использования в бытовом секторе является энергия солнца.

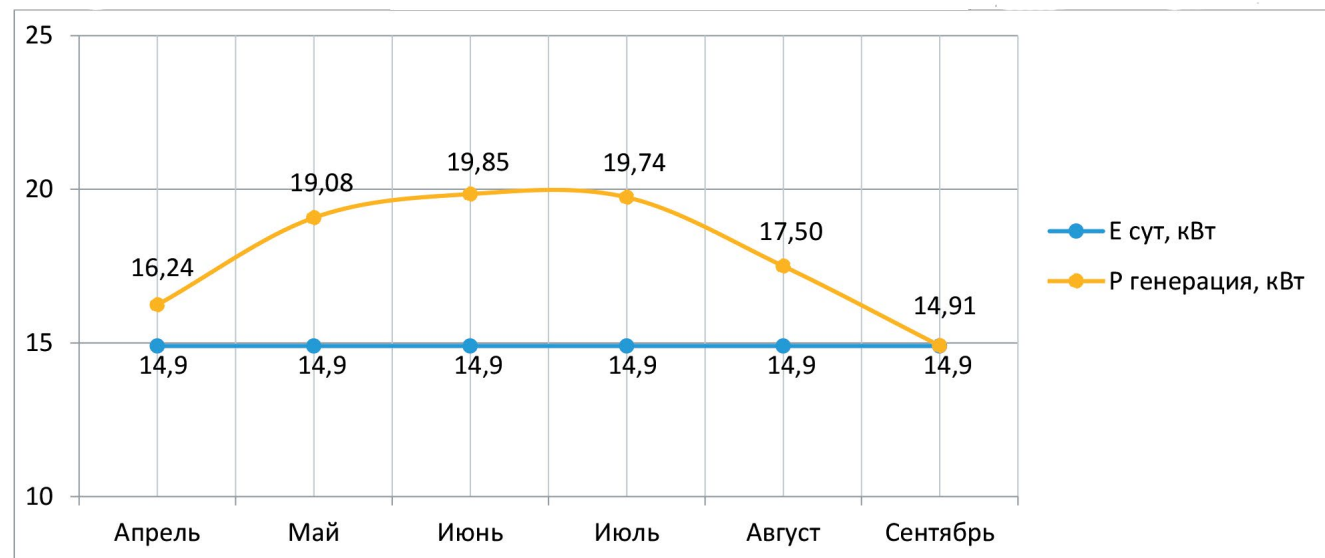
Генерация электроэнергии посредством солнечных батарей происходит следующим образом: модуль, состоящий из нескольких фотоэлементов — гелиопанелей на основе полупроводниковых материалов, улавливает солнечный свет и трансформирует его в постоянный ток, который заряжает аккумуляторную батарею напряжением 12/24/48 В. Далее постоянный ток через инвертор преобразовывается в переменный напряжением 220 В. Режим заряда батареи, напряжение и прочие параметры управляются контроллером.

Солнечная батарея с использованием аккумуляторов может работать как автономно (без подключения к домашней сети), так и гибридно (параллельно с домашней сетью).

Применяются также «сетевые» солнечные батареи (без аккумуляторных батарей), напрямую передающие энергию в электрическую сеть, однако их эффективность варьируется тем, что генерация меняется в зависимости от времени суток и погодных условий, не всегда обеспечивает требуемые потребности.

ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ И ГЕНЕРИРУЕМАЯ МОЩНОСТЬ В ПЕРИОД АПРЕЛЬ—СЕНТЯБРЬ [10]

Рис. 2.



Фотоэлементы обычно монтируются на крыше/стенах зданий в самом освещенном месте под определенным углом к горизонту с учетом уровня затененности.

Как правило, аккумуляторная батарея состоит из двух групп элементов: основной и резервной. Основная группа постоянно работает в режиме «заряд—разряд», т.е. отдает генерируемую энергию в сеть, резервная группа работает параллельно с основной в режиме «заряд». Когда исчерпана энергия основной группы и уровень напряжения понижен и при этом отсутствует генерация (в облачную погоду или ночью), резервная группа переключается в режим «разряд» и отдает энергию в сеть.

В разное время суток единица поверхности фотоэлемента облучается солнцем по-разному, вследствие чего меняется напряжение, выдаваемое панелью. Для зарядки аккумуляторной батареи в пределах нормы необходимо напряжение, величина которого ограничена определенным диапазоном. Кон-

троллер нивелирует неритмичность, обусловленную солнечным облучением. Наличие данного прибора исключает перезарядку батареи с последующим ее закипанием. Контроллер также не допустит снижения запаса электроэнергии ниже установленной нормы, гарантирующей надежную работу всей энергосистемы.

Упрощенный расчет параметров солнечной батареи для частного жилого дома (при условии, что дом расположен на юге России, не оборудован стационарной электроплитой для приготовления пищи, электроотопительными, электронативными установками для целей горячего водоснабжения, в доме четыре комнаты и более и проживают четыре человека, а также среднесуточное потребление электроэнергии составляет 14,9 кВт·ч) показывает, что для 100% замещения централизованно поставляемой электроэнергии в период с апреля по сентябрь минимальная мощность солнечной батареи должна составлять 5000 Вт.

Приблизительное количество ежесуточно распределенной электростанцией мощности и требуемой к потреблению энергии представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при требуемой ежесуточной генерации 14,9 кВт·ч в период с апреля по август батарея будет генерировать избыточную мощность.

С учетом возможной необходимости в электрическом отоплении в осенне-зимний период и множества других факторов, влияющих на балансы централизованного электроснабжения, генерации и потребления энергии, годовой профиль потребления и генерации в реальной жизни будет выглядеть примерно так, как показано на рис. 3.

В условиях избыточной генерации особую актуальность приобретает наличие возможности у потребителя реализации излишней электроэнергии во внешнюю сеть и нивелирование собственных расходов за ее централизованную поставку.

Применение систем накопления позволяет максимизировать использование электроэнергии, вырабатываемой генерацией потребителя, и перенести потребление электроэнергии на периоды, когда возрастает нагрузка и есть дефицит традиционного централизованного электроснабжения.

В отсутствие собственной системы накопления энергии в качестве накопителя может выступать централизованная электрическая сеть: днем сгенерированная потребителем излишняя энергия отдается в сеть, вечером в часы активного потребления возвращается из нее обратно.

Количество энергии, потребленной из сети и сгенерированной электростанцией в сеть, учитывается специальным двунаправленным счетчиком, при этом энергосбытовая компания обязана принимать в зачет у собственника отданную в сеть электроэнергию и ежемесячно производить с потребителем сальдированные взаиморасчеты.

На указанных принципах строится понятие «зеленого» тарифа на опла-

ту электроэнергии, позволяющего не только снизить затраты на электричество, потребленное из сети, но и заработать путем отдачи избытков в сеть.

ОБОРУДОВАНИЕ МИКРОГЕНЕРАЦИИ

Наиболее распространенным оборудованием, применяемым на объектах микрогенерации, являются: солнечные панели, контроллеры, инверторы, аккумуляторные батареи и двунаправленные приборы учета.

В современных макроэкономических условиях особую важность приобретают вопросы импортозамещения и использования отечественных разработок. Анализ рынка показал, что в России есть отечественное оборудование для микрогенерации с широким выбором решений. Однако значимую долю российского и мирового рынка занимают азиатские производители.

Для эффективного развития распределенной энергетики и интеграции ее с электросетевым комплексом необ-

ходимы научные исследования в части создания эффективных моделей приема в сеть излишков электроэнергии микрогенерации, разработки оборудования для активно-адаптивных сетей, формирование единых норм и требований к оборудованию и технологическим процессам, повышение качества и объема производства российских комплектующих, прежде всего систем накопления энергии.

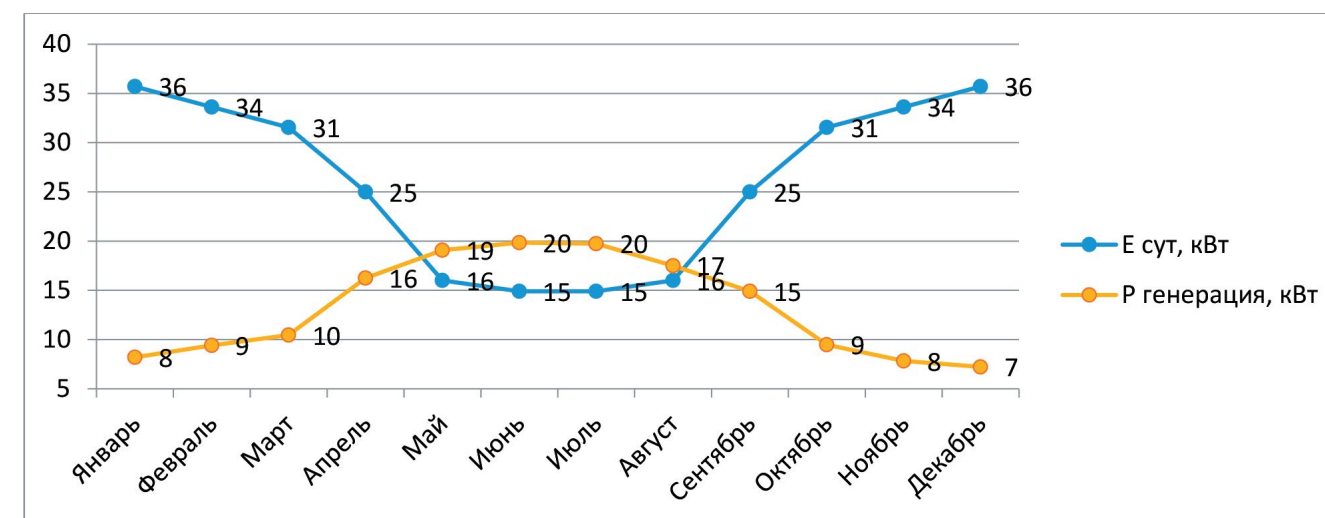
Значительные усилия производителей и поставщиков оборудования микрогенерации необходимо направить также на обеспечение соответствия отраслевым требованиям безопасности, ГОСТам и СТО, включая СТО ПАО «Россети».

К ВОПРОСУ О ПРАВОВОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

До недавнего времени аспекты функционирования микрогенерации в рамках распределенной энергетики никак не регулировались на законодательном уровне, что сильно тормозило ее развитие. Однако в последние годы ситуация постепенно меняется.

ЗНАЧЕНИЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ И ГЕНЕРИРУЕМОЙ МОЩНОСТИ В ПЕРИОД КАЛЕНДАРНОГО ГОДА [10]

Рис. 3.



Так, впервые в ФЗ от 27.12.2019 № 471 «О внесении изменений в ФЗ «Об электроэнергетике» закреплено понятие «объект микрогенерации». Это объект по производству электрической энергии, принадлежащий на праве собственности или ином законном основании потребителю электрической энергии, энергопринимающие устройства которого технологически присоединены к объектам электросетевого хозяйства с уровнем напряжения до 1000 В, функционирующий в том числе на основе использования возобновляемых источников энергии и используемый указанным потребителем для производства электрической энергии в целях удовлетворения собственных бытовых и (или) производственных нужд, а также в целях продажи в порядке, установленном основными положениями функционирования розничных рынков в случае, если объем выдачи электрической энергии таким

объектом по производству электрической энергии в электрическую сеть не превышает величину максимальной присоединенной мощности энергопринимающих устройств указанного потребителя и составляет не более 15 кВт и если для выдачи электрической энергии такого объекта в электрическую сеть не используется электрическое оборудование, предназначенное для обслуживания более одного помещения в здании, в том числе входящее в состав имущества многоквартирного дома. [5]

Кроме того, указанный ФЗ закрепляет и другие аспекты:

- электрическая энергия, произведенная на объектах микрогенерации и не потребленная их собственниками в целях удовлетворения собственных бытовых и (или) производственных нужд, реализуется на розничных рын-

ках в порядке, установленном основными положениями функционирования розничных рынков;

- деятельность по реализации излишков электроэнергии на розничных рынках не относится к предпринимательской и потребитель освобождается от уплаты соответствующих налогов;
- заключение договора купли-продажи электрической энергии, произведенной на объектах микрогенерации, расположенных в зоне деятельности гарантирующего поставщика, с обратившимся к гарантирующему поставщику собственником объектов микрогенерации является обязательным для гарантирующего поставщика;
- гарантирующий поставщик, функционирующий в ценовых и неценовых зонах оптового рынка, приобретает на розничных рынках у собственников объектов микрогенерации электрическую энергию, произведенную на объектах микрогенерации, по ценам, не превышающим цены на приобретаемые на оптовом рынке гарантирующими поставщиками электрическую энергию и мощность;
- в случаях, установленных основными положениями функционирования розничных рынков, сетевые организации обязаны осуществлять компенсацию потерь в электрических сетях в первую очередь за счет приобретения электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии или торфа квалифицированных генерирующих объектах [5].

Еще одним правовым регулятором микрогенерации стало Постановле-

ние Правительства РФ от 02.03.2021 № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации», в котором закреплены следующие положения:

- независимо от наличия или отсутствия технической возможности технологического присоединения на дату обращения заявителя сетевая организация обязана заключить договор с лицами, обратившимися в сетевую организацию с заявкой на технологическое присоединение объектов микрогенерации, и выполнить в отношении объектов микрогенерации таких лиц мероприятия по технологическому присоединению при условии, что принадлежащие заявителю энергопринимающие устройства потребителя электрической энергии технологически присоединены к объектам электросетевого хозяйства сетевой организации с уровнем напряжения до 1000 В;
- в случае технологического присоединения объектов микрогенерации заявка на технологическое присоединение подается в сетевую организацию, к объектам электросетевого хозяйства которой технологически присоединены принадлежащие заявителю энергопринимающие устройства потребителя электрической энергии. В случае одновременного технологического присоединения объектов микрогенерации и энергопринимающих устройств потребителя электрической энергии заявка на технологическое присоединение подается в сетевую организацию;
- технологическое присоединение объектов микрогенерации долж-

но предусматривать обеспечение технического ограничения выдачи электрической энергии в сеть с максимальной мощностью, не превышающей величину максимальной мощности принимающих устройств потребителя электрической энергии и составляющей не более 15 кВт [6].

Ограничение мощности генератора нуждами одного частного дома, в свою очередь, вытекает из самого принципа децентрализованной энергетики, предусматривающей максимальное приближение генерации к потребителю.

При необходимости микрогенерация должна обеспечивать как минимум нужды резервного электропитания.

Помимо этого, в ФЗ № 299 содержатся требования по установке устройств регулирования напряжения для обеспечения надежности и качества электрической энергии, а также для возможности дистанционного отключения объектов микрогенерации, обязательные для исполнения сетевой организацией за счет ее средств.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 12.02.2009 № 114 «О порядке отнесения субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии к кругу лиц, подлежащих обязательному обслуживанию при оказании услуг по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике» (с изменениями и дополнениями), объекты микрогенерации и реализуемые ими технологические процессы не подвергаются какому-либо оперативному-диспетчерскому управлению или ведению со стороны государства ввиду их ограниченной законом мощности (генерирующая мощность для регулирования согласно постановлению должна составлять не менее 5 МВт).

ВЛИЯНИЕ МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА УЧАСТНИКОВ РЫНКА

При рассмотрении процессов развития и распространения распределенной энергетики нельзя обойти стороной вопросы ее влияния на участников рынка — «потребителя-производителя» энергии и сетевую компанию в частности, а также на рынок энергетики и экономики в целом.

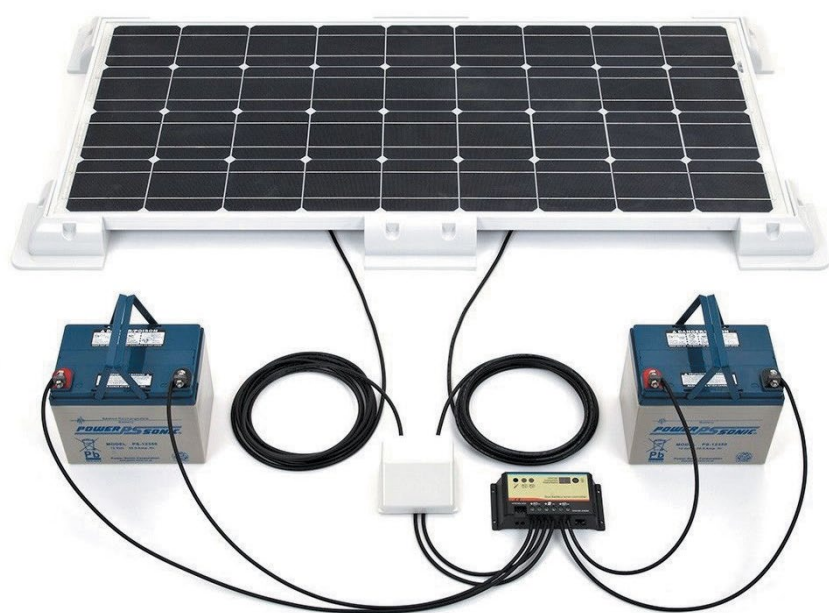
Несомненно, процессы децентрализации и трансформации устоявшихся алгоритмов функционирования системы электроснабжения не могут проходить гладко, не создавая при этом некий резонанс. При этом уже сейчас можно выделить преимущества и недостатки, сопутствующие внедрению и распространению возобновляемых источников энергии в распределительных сетях [9].

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

- Возможность управления надежностью и качеством электроснабжения, варьирования потребления под свои нужды при соответствующем изменении.
- Вариативность в управлении потреблением (спросом) и предложением электроэнергии в сеть, обусловленная динамикой ее стоимости.
- Снижение уровня зависимости от централизованного электроснабжения.
- Гибкость, расширение возможностей для потребительского выбора (между способами энергообеспечения, поставщиками и т.д.).
- Снижение прямых затрат на электроэнергию за счет собственной генерации и реализации излишков.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ

Рис. 4.



- Появление конкуренции поставщиков энергии и сопутствующих услуг.

НЕДОСТАТКИ И РИСКИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

- Снижение надежности и повышение стоимости энергообеспечения по сравнению с традиционной моделью централизованного энергообеспечения в случае ошибок при планировании, реализации проектов собственной генерации, эксплуатации, технической интеграции распределенных источников в централизованную энергосистему (профессиональные ошибки вполне вероятны с учетом того, что энергетика является непрофильным видом деятельности для подавляющего большинства потребителей).
- Дополнительные затраты по резервированию в случае, когда резервирование от централизованной энергетики не осуществляется.
- Рост сетевой составляющей стоимости электроэнергии в случае «ухода» потребителей на собственную генерацию с перекладыванием части затрат на содержание электрических сетей на оставшихся потребителей.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ

- Увеличение активности в распределительных сетях, рост количества подключений и, как следствие, рост платежей за технологическое присоединение и за резервирование.
- Возможность развития новых видов бизнеса с использованием своих активов (например,

услуги по управлению распределенными источниками энергии), качественного их улучшения в направлении Smart Grid, развития функций, свойственных Distribution System Operators (DSO).

- Перспектива развития высокотехнологичного экспорта моделей и практик на растущем зарубежном рынке распределенной энергетики дружественных стран.

НЕДОСТАТКИ И РИСКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ

- Снижение полезного отпуска и объемов передачи электроэнергии по существующим сетям, уменьшение выручки, сокращение инвестиционных программ в традиционных направлениях.
- Технологические трудности интеграции малых генераторов в систему (включая их влияние на надежность), необходимость капитальных затрат на модернизацию распределительных сетей, защит, автоматики и т.д.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ДЛЯ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

- Экономия за счет частичного снижения общих капитальных затрат на развитие сетевого комплекса и задействования новых мощностей более мелкими приращениями в зависимости от реальной динамики и расположения спроса.
- Снижение общесистемных затрат за счет задействования объектов распределенной генерации, снижения объемов генерирующих и сетевых резервов, расширения потребительского выбора.

НЕДОСТАТКИ И РИСКИ ДЛЯ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

- Усложнение энергосистемы и рыночного пространства с точки зрения диспетчеризации, управления, регулирования и контроля из-за появления тысяч объектов микрогенерации, накопителей, новых сервисов и контрагентов.
- Изменение традиционного принципа централизованного планирования и перспективного развития в электроэнергетике.
- Необходимость корректировки устоявшейся модели рынка с внесением изменений в нормативно-правовую базу.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ:

- Рост конкурентоспособности промышленных, коммерческих потребителей и, как следствие, поддержка экономического роста.
- Создание центров спроса на инновации, мультипликативные эффекты инвестиций в новый технологический сектор электроэнергетики.
- Повышение привлекательности российского сектора электроэнергетики для инвесторов.
- Появление российских компаний, способных развить новые компетенции и выйти на масштабный глобальный рынок оборудования и технологий.

НЕДОСТАТКИ И РИСКИ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ

- Усложнение энергетической отрасли как объекта государственного регулирования.

- Возникновение диспропорций в ценообразовании на электроэнергию на этапе становления гибридной энергетики.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределенная энергетика в России находится на начальной стадии развития. В промышленности имеется большое число примеров ее эффективного функционирования. Однако в условиях преобладания доступных и относительно дешевых традиционных энергоресурсов возобновляемая энергетика еще долго будет «на подхвате» у большой энергетики и использоваться как инструмент резервного автономного энергообеспечения.

При этом отставание России от мировой тенденции развития возобновляемых источников энергии, систем накопления энергии, распределенной энергетики недопустимо. Технологии микрогенерации и распределенной энергетики относятся к технологиям, которые могут способствовать существенному обновлению большой энергетики и вывести её на новый технологический уровень.

С появлением новых технологических решений, отечественного оборудования и электронной компонентной базы, повышения осведомленности и финансово-хозяйственной грамотности потребителей, развитием нормативной правовой базы интеграционные процессы распределенной энергетики и распределительных сетей единой энергетической системы будут нарастать.

В настоящей статье поставлена проблема интенсификации научно-технических разработок, исследований, опытно-конструкторских работ в сфере солнечной, ветровой, водородной энергетики, получения электроэнергии из других источников, создания накопителей электроэнер-

гии, а также организационно-правового обеспечения интеграции двух систем генерации электроэнергии.

Сегодня заложены первые «кирпичи» правовой основы функционирования микрогенерации — определены аспекты технологического присоединения объектов к электрическим сетям, класс напряжения и максимальная мощность таких объектов, а также порядок реализации генерируемой энергии в сеть. В будущем с развитием отрасли вероятно повышение порогов мощности присоединяемых объектов микрогенерации и корректировка тарифно-балансовых решений в пользу потребителя.

Для получения системных эффектов от развития распределенной энергетики требуются существенные изменения сложившихся в отрасли норм и практик. В самом начале этого процесса необходимо признать распределенную энергетику составляющим элементом развития российской электроэнергетики, одним из драйверов её технологического развития.

Оптимальный сценарий становления распределенной энергетики в России автору видится с одной стороны, как процесс, снижающий капитальные затраты на развитие сетевого комплекса и крупной генерации, способствующий, в том числе сдерживанию роста цен на электроэнергию, расширяющий потребительский выбор, повышающий энергоэффективность производств и домохозяйств, снижающий выбросы парниковых газов.

С другой стороны, данный процесс неизменно будет способствовать повышению инвестиционной привлекательности высокотехнологичной энергетики, созданию новых производств, рабочих мест, центров спроса на инновации и условий для появления российских компаний — экспортеров новых технологий. Для сетевых компаний видится перспектива

освоения новых бизнес-процессов и рынков спроса, развитие и расширение предоставляемых услуг. При этом традиционный потребитель энергии становится партнером большой энергетики — полноправным участником энергетического рынка.

ЛИТЕРАТУРА

1. ФЭ от 26.03.2003 № 35 «Об электроэнергетике».
2. ФЭ от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в ФЗ «Об электроэнергетике».
3. Постановление Правительства РФ от 02.03.2021 № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации».
4. Постановление Правительства РФ от 12.02.2009 № 114 «О порядке отнесения субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии к кругу лиц, подлежащих обязательному обслуживанию при оказании услуг по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике».
5. Распоряжение правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года».
6. Приказ Минэнерго РФ от 21.12.2021 № 1436 «Прогноз научно-технического развития отраслей ТЭК России на период до 2035 года».
7. Концепция «Цифровая трансформация 2030» ПАО «Россети».
8. «Распределенная энергетика в России: потенциал развития», Московская школа управления СКОЛКОВО.
9. «Прогноз развития энергетики мира и России 2019», Институт энергетических исследований РАН Центра энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО.
10. Россихин Д.А. Современные технологии Умного дома // Руководящие материалы по проектированию и эксплуатации электрических сетей. 2022. № 3 (605).
11. Статья «Схема зарядки аккумулятора от солнечной батареи» (<https://ibp-ural.ru/skhema-zaryadki-akkumulyatora-ot-solnechnoj-batarei>).