



DOI: 10.34831/EP.2022.54.87.004  
УДК 621.311

## Системный подход к развитию и внедрению распределённой энергетики и возобновляемых источников энергии в России

**ИЛЮШИН П. В., доктор техн. наук**  
Институт энергетических исследований Российской академии наук  
117186, Москва, ул. Нагорная, 31, корп. 2  
ilyushin.pv@mail.ru

Рассмотрены причины строительства промышленными предприятиями объектов распределённой генерации (РГ) в России, а также возникающие проблемные вопросы, требующие решения. Процесс развития РГ носит малоуправляемый, слабо регулируемый и плохо прогнозируемый характер. Приведены существенные отличия объектов РГ от объектов распределённой энергетики (РЭ), что требует пересмотра требований к их интеграции и функционированию в составе распределительных сетей. Обоснована необходимость применения системного подхода к развитию и внедрению РЭ и объектов на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России. Рассмотрено влияние климатических изменений на оборудование объектов электроэнергетики, включая ВИЭ. Обоснована эффективность создания коммунальных объектов РЭ — локальных интеллектуальных энергосистем (ЛИЭС) с целью повышения доступности и надёжности энергоснабжения, а также снижения темпов роста тарифов на электрическую и тепловую энергию для бытовых и приравненных к ним потребителей. Интеграция ВИЭ и систем накопления электроэнергии в коммунальные ЛИЭС позволяет минимизировать негативное влияние ВИЭ на оборудование распределительных сетей и режимы работы энергосистем за счёт специального управления объектами РГ. Представлены способы компенсации климатических изменений, повышения энергоэффективности и энергосбережения, а также достижения углеродной нейтральности. Приведён перечень организационно-технических мероприятий и предложений по внесению изменений в нормативно-правовые акты с целью создания благоприятных условий для развития коммунальных ЛИЭС.

**Ключевые слова:** распределённая энергетика, возобновляемые источники энергии, климатические изменения, доступность и надёжность энергоснабжения, системный подход.

**В**о многих странах мира в последние годы происходит «энергетический переход» — формирование децентрализованной малоуглеродной энергетической инфраструктуры, оснащаемой цифровыми системами и устройствами различного назначения. При этом изменяется модель поведения потребителей, которые становятся просьюмерами, активно влияющими на режимы работы энергосистем за счёт эффективного управления собственным электропотреблением, объектами распределённой генерации (РГ) и системами накопления электроэнергии (СНЭЭ) [1 – 3].

Собственники объектов РГ используют для выработки необходимых видов

энергии доступные первичные и вторичные энергоресурсы, с учётом требований по энергоэффективности, энергосбережению и снижению выбросов углекислого газа для обеспечения надёжного энергоснабжения потребителей.

Процесс развития РГ промышленными предприятиями в России носит малоуправляемый, слабо регулируемый и плохо прогнозируемый характер. Это приводит к негативным последствиям, не позволяющим извлекать позитивные локальные и системные технико-экономические эффекты для субъектов РФ, субъектов электроэнергетики, а также потребителей [4].

По экспертным оценкам суммарный объём РГ в России, включая резервные источники электроснабжения, составляет около 22 – 23 ГВт, т. е. 9,5 – 10 % суммарной величины генерирующих мощностей в ЕЭС России, из них около 8,5 – 9 ГВт расположенных в изолированных энергорайонах, а 13,5 – 14 ГВт — в централизованной зоне электроснабжения.

Строительство объектов РГ промышленными предприятиями, как правило, не связано с диверсификацией бизнеса, а является вынужденной мерой по снижению себестоимости и повышению конкурентоспособности продукции, а также обеспечению надёжного электроснабжения электроприёмников. Тарифы на электроэнергию и надёжность электроснабжения в целом ряде субъектов РФ не позволяет энергоёмким и технологически сложным промышленным производствам развиваться и устойчиво функционировать.

В настоящее время в отечественных нормативно-правовых актах (НПА) и нормативно-технических документах (НТД) не делается различий между объектами РГ и РЭ, хотя они существенны. Объект РЭ создаётся на базе объекта(-ов) РГ, в том числе на основе ВИЭ, и включает в себя, помимо управляемой нагрузки, систем накопления энергии (при необходимости), внутренние тепловые и электрические сети, а также единую интеллектуальную систему управления [5]. Объект РЭ осуществляет электро-, тепло- и холодоснабжение (при необходимости) потребителей, которые находятся в непосредственной близости, и функционирует на генераторном (среднем) напряжении. В нормальном режиме объект РЭ работает на принципах самобаланса по электрической и тепловой мощности (энергии), выдавая во внешнюю сеть или потребляя из нее только излишние/недостающие объёмы [6].

Строительство объектов на основе ВИЭ в России в настоящее время осуществляется, в основном, через механизм заключения договоров о предоставлении мощности (ДПМ ВИЭ), гарантирующий инвесторам возврат инвестиций с высокой доходностью за счёт специальной надбавки к цене на мощность для покупателей оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

В России до конца 2024 г. должны быть введены в эксплуатацию ветровые (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС) установленной мощностью 5,28 ГВт. При этом в ЕЭС России доля объектов на основе ВИЭ составит около 2 % суммарной установленной мощности генерирующего оборудования (в некоторых энергосистемах — 15 %) и около 0,8 % общего объема выработки электроэнергии. Программой ДПМ ВИЭ 2.0 в 2025 – 2035 гг. запланировано дополнительно ввести в эксплуатацию около 6,7 ГВт на ВЭС и СЭС [7].

Интеграция ВИЭ в удалённые изолированные энергорайоны на Крайнем Севере и Дальнем Востоке страны с малыми объемами электропотребления позволяет снизить затраты на дизельное топливо и его доставку, повысить энергоэффективность и содействовать улучшению экологической обстановки.

Развитие микрогенерации (до 15 кВт) в России идёт незначительными темпами, что обусловлено процедурными сложностями при технологическом присоединении и заключении договоров на продажу излишков выработанной электроэнергии, а также низкой стоимостью покупки этих излишков.

Россия планирует достичь углеродной нейтральности к 2060 г., что подразумевает снижение до нуля выбросов углекислого газа, а также требует поддержания баланса между объемами выбросов и их удаления, в том числе за счёт компенсации. Для этого необходимо осуществить радикальное преобразование технологических процессов на базе инновационных разработок в наиболее энергоёмких секторах экономики: энергетике, обрабатывающей промышленности, транспорте и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Целью статьи является анализ проблемных вопросов и объективных предпосылок, определяющих необходимость развития и внедрения РЭ и объектов на основе ВИЭ, а также формирования перечня организационно-технических мероприятий для достижения стратегических целей развития электроэнергетики страны.

### **Проблемные вопросы, требующие решения**

Доступность энергоснабжения для промышленных и коммерческих потребителей во многом определяет возможности развития бизнеса, а значит эффективность функционирования и развития экономики страны. На протяжении многих лет существует проблема закрытых центров питания как в магистральных, так и в распределительных электрических сетях. В 2016 г. их было 2118 (8 % общего числа), на текущий момент ситуация изменилась в лучшую сторону, но не радикально. Закрытый центр питания — это подстанция, к которой невозможно осуществить техно-

логическое присоединение новых потребителей с соблюдением параметров надёжности и качества передаваемой электроэнергии, с учётом исполнения ранее взятых обязательств [8].

Стремление электросетевых компаний ввести оплату услуг по передаче электроэнергии с учётом оплаты резервируемой максимальной мощности может привести к разделению ЕЭС России на множество изолированных зон электроснабжения с большими объемами производства электрической и тепловой энергии на собственных объектах РГ. При этом промышленные потребители, оплатившие ранее технологическое присоединение к сетям на определённую величину максимальной мощности, могут потребовать полного или частичного выкупа этой мощности по рыночной стоимости (фактически понесённым затратам), что создаст проблемы для электросетевых компаний.

Одним из вариантов в этом случае будет проведение промышленными предприятиями реконструкции сетей внутреннего электроснабжения с выделением на параллельную работу с ЕЭС России потребителей I категории надёжности, не допускающих перерывов электроснабжения. Остальные электроприёмники будут запитываться от внутренней изолированной сети на базе объекта(-ов) РГ. Во многих регионах, за исключением мегаполисов и крупных городов, загрузить высвободившиеся электросетевые мощности не получится в связи с отсутствием заявок на технологическое присоединение. Так как промышленные предприятия не находятся территориально в центрах крупных городов и мегаполисов, то при реализации указанной стратегии значимого увеличения полезного отпуска в сеть не произойдёт.

Принимая во внимание значительные различия между объектами РГ и РЭ, следует приветствовать интеграцию в распределительные сети объектов РЭ, которые позволяют решать целый ряд системных задач, стоящих перед электроэнергетикой России при её трансформации. Однако требования к технологическому присоединению объектов РЭ, а точнее объединению на параллельную работу, и их функционированию в составе энергосистем не отличаются от тех, которые предъявляются к объектам РГ. Данное положение требует пересмотра НПА и НТД для выделения объектов РЭ в отдельный вид.

Важно отметить, что при конкурсных отборах проектов с использованием ВИЭ учитываются только экономические показатели и требования по локализации оборудования, при этом не уделяется должного внимания важным техническим вопросам их интеграции и функционирования в ЕЭС России. При малой доле ВИЭ в структуре генерирующих мощностей такой подход не

приводит к серьёзным негативным последствиям, или они проявляются, но локально. Однако увеличение доли объектов на основе ВИЭ без корректного решения технических вопросов неизбежно будет приводить к повреждению электросетевого оборудования и авариям с массовым нарушением электроснабжения потребителей.

Существует мнение, что ВИЭ в России должны использоваться только для организации автономного электроснабжения потребителей. Это обусловлено целым рядом проблемных вопросов интеграции и функционирования ВИЭ, которые системно не решаются. Однако при внесении необходимых корректировок в НПА и НТД, регламентирующих технические требования к оборудованию ВИЭ, их технологическому присоединению и работе в составе энергосистем, а также разработке пакета методических документов по проектированию объектов на основе ВИЭ (методик, методических указаний, методических рекомендаций и др.), возможно увеличение доли ВИЭ в ЕЭС России [9].

В настоящее время каждый сектор электроэнергетики в России развивается по своей траектории, задач по максимизации общесистемных эффектов, которые будут справедливо распределяться между всеми субъектами электроэнергетики и потребителями, не ставится, поэтому каждый решает свои собственные локальные задачи, часто в ущерб отрасли в целом.

Системный подход к развитию и внедрению РЭ и объектов на основе ВИЭ заключается в комплексном решении технических и экономических вопросов в рамках концепции развития ЕЭС России на долгосрочный период для достижения стратегических целей. Такими целями, помимо углеродной нейтральности, утилизации вторичных энергоресурсов, комбинированной выработки энергии, должны быть доступность и надёжность энергоснабжения потребителей в требуемых объёмах и по приемлемым ценам, эффективное сочетание систем централизованного и децентрализованного энергоснабжения, использование местных энергоресурсов, а также обеспечение качества электроэнергии [10].

### **Влияние климатических изменений на объекты электроэнергетики**

В условиях климатических изменений возможно более частое возникновение природных катаклизмов, таких как ураганы, цунами, землетрясения, массовые пожары с высокой скоростью распространения огня и др. Невозможно гарантировать надёжную и безотказную работу оборудования в условиях, отличающихся от его климатического исполнения, например, при повышенных/по-



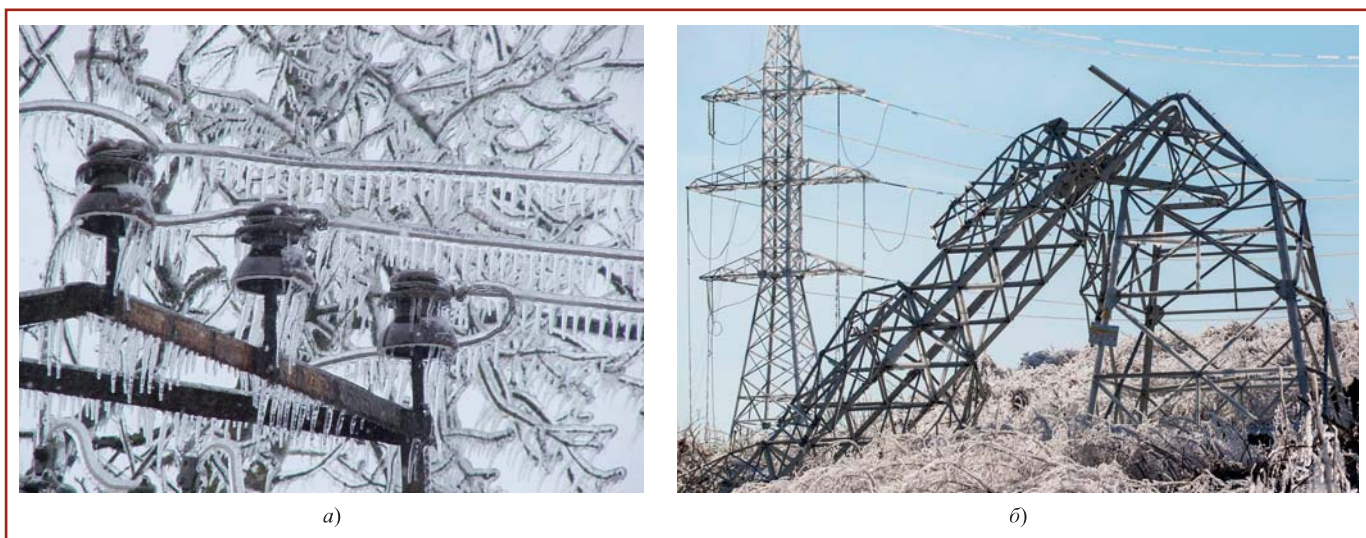


Рис. 1. Фото электросетевых объектов:

а — последствия ледяного дождя; б — слом опоры воздушной линии электропередачи (ВЛ) при гололёдно-изморозевых отложениях

ниженных температурах наружного воздуха и др.

Изменения климата негативно влияют на функционирование ВЛ, по которым осуществляется передача мощности от традиционных электростанций через магистральные (распределительные) сети до потребителей. За последние десятилетия, в связи с изменением карты районирования по толщине стенки гололёдно-изморозевых отложений, вероятность повреждений ВЛ выросла в десятках регионов России (толщина стенки гололёдно-изморозевых отложений выше проектной). Примеры последствий приведены на рис. 1.

В этих условиях затраты на сооружение новых ВЛ и реконструкцию существующих, в том числе с их переводом в кабельные, будут существенно выше. Даже если теплоснабжение потребителей осуществляется от котельных, которых в стране около 75 тыс., то риск нарушения теплоснабжения остаётся высоким, так как в большинстве случаев они питаются по ВЛ.

Известно, что одной из причин аварии на АЭС Фукусима-1 стало применение морально устаревшей конструкции реакторной установки BWR типа. На ВЭС в Техасе согласно проекту лопасти ветроэнергетических установок не были снабжены подогревом для работы при низких температурах, а также не были покрыты материалами, препятствующими их обледенению.

В настоящее время в распределительных сетевых компаниях России эксплуатируется около 60 – 70 % морально и физически изношенного оборудования, при том, что основная часть потребителей присоединена именно к их сетям на среднем 6 – 35 кВ и низком 0,4 кВ напряжении.

Негативные последствия от изменений климата будут приводить к росту числа отказов от надёжности (рост

параметра потока отказов; снижение коэффициента готовности) электросетевого оборудования. Это вызовет рост величины убытков у субъектов электроэнергетики из-за недоотпуска электрической и тепловой энергии, ущербов и убытков у промышленных и коммерческих потребителей, а также недовольство бытовых потребителей.

Рост числа аварий на оборудовании с повреждением его отдельных элементов требует наличия большей величины аварийного резерва оборудования, запасных частей и материалов для его ремонта. Также необходимо наличие высококвалифицированного эксплуатационно-ремонтного персонала в достаточном количестве для быстрого проведения аварийно-восстановительных работ и ввода оборудования в работу, не допуская его длительных простоев. Это потребует дополнительных операционных затрат.

При снижении среднего времени между вынужденными отключениями генерирующих установок потребуются увеличить резервы генерирующих мощностей в каждой из региональных (объединённых) энергосистем, а также резервы по пропускной способности линий электропередачи и силовых трансформаторов с целью обеспечения заданных показателей надёжности.

При ликвидации аварий и их последствий требуется высокая квалификация оперативно-технологического персонала. Наиболее важным является ясное понимание принципов и подходов к принятию решений в условиях нестандартных ситуаций, требующих учёта повреждений оборудования, имеющих ограничения и хода развития аварии, которые не рассмотрены в действующих инструкциях. Необходимо уметь оперативно принимать решения, адекватные аварийной ситуации, так как их непринятие (несвоевременное принятие) будет

приводить к ещё большему ущербу и убыткам.

При росте аварийных отключений оборудования на объектах электроэнергетики промышленные, коммерческие и бытовые потребители будут вынуждены укомплектовываться резервными источниками электроэнергии и энергоснабжения. Это будет приводить к дополнительным затратам и стимулировать к использованию резервных источников в качестве основных, переходя на энергоснабжение от собственных объектов РГ и РЭ.

Климатические изменения будут влиять на отклонение коэффициентов использования установленной мощности оборудования от расчётных в меньшую сторону, увеличивая сроки окупаемости проектов, величины штрафов на ОРЭМ (для объектов на основе ВИЭ), а также возможность погашения платежей по кредитам.

В отношении ВИЭ показателен пример Германии (2017 г.), когда на протяжении почти двух недель наблюдался «тёмный штиль» — погода, при которой нет ветра, но присутствует высокая облачность. Основная часть СЭС в Германии находится на юге страны, а ВЭС на севере, при этом перетоки мощности между ними осуществляются по передаче постоянного тока  $\pm 800$  кВ. При минимальной величине выработки на ВЭС и СЭС дефицит мощности компенсировался за счёт соседних стран (в основном Франции), при этом были расконтурованы угольные ТЭС, и вводились ограничения на потребителей.

В США в 2021 г. наблюдался «тёмный холодный штиль» — то же самое, но при отрицательных температурах. При этом снег выпадал и не таял, в результате чего выработка электроэнергии на СЭС и ВЭС снизилась до минимальных значений. Более 3 млн человек остались без электроснабжения, фиксировались

повреждения оборудования, в том числе ветроэнергетических установок, и ущербы на многих промышленных и энергетических объектах.

Рассмотренные примеры негативно-го влияния климатических факторов часто проявляются одновременно, что требует проведения моделирования данных событий и их наложений для корректной оценки комплексного влияния на функционирование региональных энергосистем и ЕЭС России в целом.

Указанные факторы приводят либо к ограничению выработки электрической и тепловой энергии электростанциями (котельными), либо к полному (не подлежит ремонту) или частичному (подлежит капитальному ремонту) повреждению оборудования. В полной мере эти факторы относятся и к объектам на основе ВИЭ, что требует их учёта в методических документах по проектированию. Это, в свою очередь, может приводить к ограничению или полному нарушению энергоснабжения промышленных, коммерческих и бытовых потребителей.

### Надёжность энергоснабжения и качество электроэнергии

Для промышленных и коммерческих потребителей надёжность энергоснабжения является необходимым условием для возможности функционирования производств. Нарушения или ограничения поставок электрической и/или тепловой энергии приводят к остановкам непрерывных технологических процессов, браку продукции и недополучению прибыли из-за остановов и повторных пусков технологических линий и др. [11, 12]. Вопросы обеспечения качества электроэнергии на шинах электроприёмников также имеют важное значение для современных потребителей и требуют своего решения.

Существуют прецеденты и правоприменительная практика вынесения судебных решений в пользу промышленных потребителей I категории на-

дёжности, понесших ущербы от ненадёжности, вследствие возникновения аварий на электросетевых объектах.

Строительство такими потребителями объектов РЭ (локальных интеллектуальных энергосистем — ЛИЭС) в сетях среднего напряжения, работающих на принципах самобаланса по электрической и тепловой мощности (энергии), даёт возможность обеспечить надёжное энергоснабжение производств. На рис. 2 приведена упрощённая однолинейная схема интеграции объекта РЭ (ЛИЭС) в распределительную сеть 10 кВ [13].

Объединение объектов РЭ (ЛИЭС) на параллельную работу с региональными энергосистемами позволяет без затрат со стороны распределительных сетевых компаний обеспечить надёжное электроснабжение потребителей. Это возможно, так как объекты РЭ (ЛИЭС) могут выделяться в островной режим работы и функционировать в нём, пока в распределительных сетях фиксируются аварийные или послеаварийные режимы [14].

Важным фактором, минимизирующим влияние климатических изменений на обеспечение надёжности электроснабжения потребителей в ЛИЭС, является то, что все внутренние сети являются кабельными. В островном режиме обеспечивается заданный при проектировании объекта РЭ (ЛИЭС) уровень балансовой и режимной надёжности, а также качество электроэнергии. В этом случае, аварийное отключение межсистемных (330 – 750 кВ) и питающих ВЛ (110 – 220 кВ) не будет приводить к нарушениям электро- и теплоснабжения всех видов потребителей, подключённых к сетям объектов РЭ (ЛИЭС) [15].

Международный опыт показывает, что энергетика будущего основана на гармоничном дополнении традиционной генерации объектами РЭ (ЛИЭС) за счёт их конструктивного взаимодействия при интеграции и функционирования.

Требуется определить, в каких узлах сети, сколько, какой мощности и когда следует вводить в эксплуатацию объектов РЭ (ЛИЭС) в региональных энергосистемах для повышения доступности и надёжности энергоснабжения, а также обеспечения качества электроэнергии в различных режимах работы.

### Повышение энергосбережения и энергоэффективности

В России поставлена цель по снижению энергоёмкости внутреннего валового продукта (ВВП) на 60 %. Как указано в [16] удельное потребление электрической и тепловой энергии в жилищном секторе в регионах со схожими климатическими условиями различается до трёх раз. Энергоёмкость ВВП России выше мирового уровня на 46 % (по паритету покупательной способности), а уровня Канады — на 17 %. Реализация потенциала энергосбережения позволит высвободить значительные объёмы ископаемого топлива, сократить выбросы углекислого газа и повысить качество жизни населения [17].

Повышения энергоэффективности в энергетике можно достичь за счёт внедрения парогазовых установок, установок комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, устройств регулируемого привода, современных приборов учёта энергоресурсов и др.

В России действует около 75 тыс. котельных, при этом около 46 % производства тепловой и 30,6 % электрической энергии производится в теплофикационном режиме [18]. Важными целями на ближайшую перспективу должен быть отказ от строительства новых котельных, а также преобразование действующих отопительных котельных в мини-ТЭЦ (объекты РГ) на базе когенерационных установок с последующим созданием объектов РЭ (ЛИЭС).

В состав объектов РЭ (ЛИЭС) могут и должны интегрироваться как объекты на основе ВИЭ (СЭС и ВЭС), так и СНЭЭ (рис. 2). Как показывают многовариантные расчёты режимов, суммарная мощность ВИЭ в составе объекта РЭ (ЛИЭС) может составлять 25 – 40 % установленной мощности объекта РГ. Это позволяет существенно снизить выбросы углекислого газа в атмосферу, обеспечить компенсацию нестационарности выработки электроэнергии ВИЭ и минимизацию негативного влияния на электросетевое оборудование за счёт применения в составе объекта РЭ (ЛИЭС) СНЭЭ и специального управления выдачей мощности объекта(ов) РГ, на базе которого(ых) создан объект РЭ.

В настоящее время объекты РГ и РЭ, как правило, работают без выдачи мощности в распределительные сети, так как данное требование включено в технические условия на технологическое присоединение. Целесообразно снять

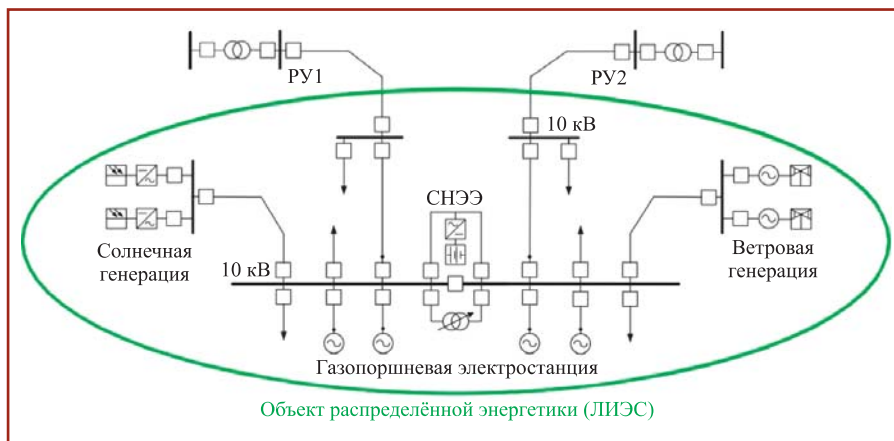


Рис. 2. Упрощённая однолинейная схема интеграции объекта РЭ (ЛИЭС)



запрет на выдачу излишков электроэнергии, что позволит собственникам объектов РЭ получать экономию от снижения расхода газа до 10 – 15 % (стабильный график загрузки генерирующих установок при максимальном КПД), а распределительным сетевым компаниям минимизировать затраты на приобретение электроэнергии для компенсации технологических потерь, приобретая её по более низкой цене, чем у гарантирующего поставщика [19].

В различных регионах мира, где массово сооружаются СЭС в сегменте микрогенерации (частных домохозяйств), график нагрузки энергосистемы существенно изменяется, приобретая форму «утиного клюва», величина которого увеличивается вследствие роста суммарной мощности СЭС (рис. 3).

На базе объектов РГ могут создаваться объекты РЭ (ЛИЭС) разных типов: промышленные (активные энергетические комплексы — АЭК), коммунальные и сельскохозяйственные. При этом АЭК содействуют увеличению «утиного клюва», так как забирают на себя базовую часть графика нагрузки энергосистемы, покрывая его за счёт объектов РГ. При создании коммунальных ЛИЭС, с интеграцией в них ВИЭ, величина «утиного клюва» может быть минимизирована, если число и суммарная мощность коммунальных ЛИЭС будет достаточной. Кроме того, скорость разгрузки энергосистемы (7 ГВт за 4 часа) в утренние часы и скорость набора мощности в вечерние часы (13 ГВт за 3 часа), включая вечерний пик электропотребления, можно в определённых пределах регулировать коммунальными ЛИЭС (рис. 3). Удельные выбросы углекислого газа в этом случае значительно снижаются.

Известно, что суммарные потери электроэнергии от генераторов на традиционных электростанциях до конечных потребителей, подключённых

к распределительным сетям среднего напряжения, составляют около 20 – 25 %. Данные потери заложены в структуру себестоимости генерирующих компаний, а также тарифы магистральных и распределительных сетевых компаний. Внутри объектов РЭ (ЛИЭС) суммарные потери при передаче электроэнергии от объектов РГ до конечных потребителей составляют около 1,5 – 2,5 %, а суммарные тепловые потери не превышают 2 – 4 %. Это содействует повышению энергоэффективности и снижению удельных выбросов углекислого газа на потребленные 1 кВтч и 1 ккал электрической/тепловой энергии.

Создание комфортных условий для развития коммунальных ЛИЭС повысит привлекательность региональной энергетики, будет содействовать притоку частных инвестиций в сферу малого энергетического бизнеса и развитию конкуренции на розничных рынках электроэнергии. Кроме того, это повысит энергоэффективность электроэнергетики в целом.

#### Тарифные последствия для потребителей

Тарифы на электроэнергию в последнее десятилетие росли темпами, превышающими инфляцию, для некоторых категорий потребителей более чем на 10 % в год, а в отдельные годы на 12 – 15 %. Поэтому экономически обоснованный тариф за 1 кВтч должен быть на 15 – 18 % ниже действующего. ОРЭМ вместо механизма повышения конкуренции стал использоваться в качестве инструмента для сбора денег, замещающего бюджетные инвестиции, а также в целях перераспределения перекрёстного субсидирования [20].

По прогнозам НП «Совет рынка», одноставочная цена электроэнергии на ОРЭМ для промышленных потреби-

телей (для населения сохраняются пониженные тарифы) будет расти до 2025 г. темпами, приведёнными на рис. 4.

В цену не включены тарифы на передачу электроэнергии электросетевых компаний (магистральной и распределительных), а также сбытовая надбавка, которые составляют около половины конечной цены на электроэнергию. Говорить о развитии промышленности в таких условиях достаточно сложно [21].

Климатические изменения будут негативно сказываться на тарифах для всех групп потребителей. Это связано как с удорожанием строительства новых, так и реконструкции действующих объектов электроэнергетики, поскольку к оборудованию будут применяться более высокие требования, например, к механической прочности опор ВЛ, сечению проводов ВЛ, диапазону рабочих температур, маневренным характеристикам генерирующих установок и др.

В ряде стран мира (например, Финляндии) с суровым климатом и большим числом природных катаклизмов в распределительных сетевых компаниях действуют долгосрочные программы по переводу ВЛ в кабельные, что существенно дороже, как при строительстве, так и в процессе эксплуатации.

В отдельных регионах может потребоваться замена оборудования, в связи с отклонением условий его эксплуатации от проектных, что будет приводить к убыткам (списание не полностью амортизированных основных средств).

Климатические изменения приведут к росту операционных затрат у субъектов электроэнергетики по причине отклонения условий эксплуатации оборудования от проектных. Это потребует, например, дополнительного охлаждения инверторного оборудования ВЭС и СЭС, организации противопожарных минерализованных полос вокруг подстанций и др. Кроме того, возможно снижение КПД отдельных видов оборудования (например, газотурбинных установок, в том числе в составе ПГУ) и рост технологических потерь, что приведёт к снижению доходной части и росту операционных затрат.

В условиях роста числа природных катаклизмов у субъектов электроэнергетики будут расти затраты на проведение аварийно-восстановительных работ и капитальных ремонтов оборудования, что неизбежно будет сказываться на росте тарифов для потребителей.

Создание коммунальных ЛИЭС позволяет снизить темпы роста тарифов на электрическую и тепловую энергию для бытовых и приравненных к ним потребителей, что является крайне актуальным в рассматриваемых условиях.

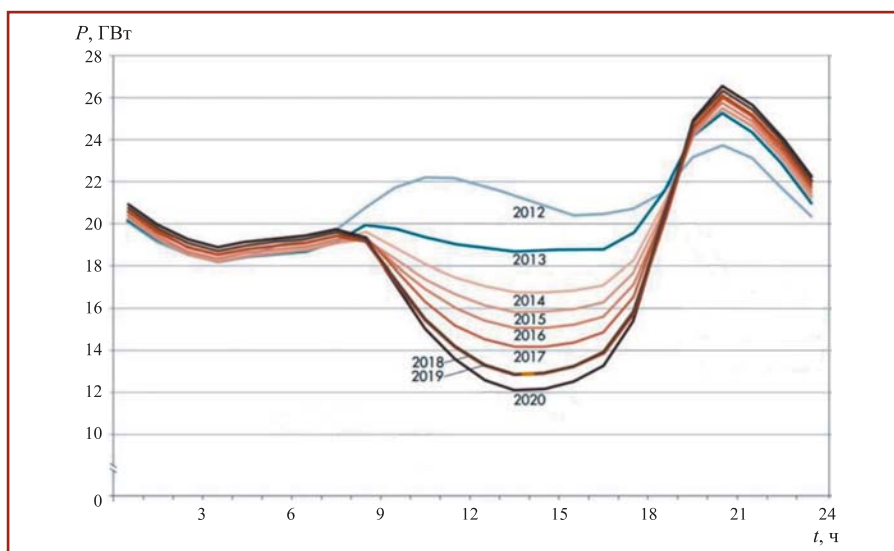


Рис. 3. График электропотребления энергосистемы

# ОДНОСТАВОЧНАЯ ЦЕНА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ\* И ПОТРЕБЛЕНИЕ

ИСТОЧНИК: «СОВЕТ РЫНКА».



\*Для потребителей оптового энергорынка без учета экспорта и потребления на собственные нужды электростанций.

Рис. 4. Прогноз одноставочной цены электроэнергии на ОРЭМ на период до 2025 г.

## Перечень организационно-технических мероприятий

В указанных условиях необходима реализация организационно-технических мероприятий для достижения стратегических целей развития электроэнергетики, минимизации ущербов промышленных и коммерческих потребителей, убытков субъектов электроэнергетики, а также обеспечения надежного энергоснабжения бытовых потребителей.

Такой подход позволит получить новую структуру как региональных энергосистем, так и ЕЭС России в целом. Это будет содействовать повышению надежности (способность выполнять функции по производству, передаче, распределению и электроснабжению потребителей в требуемом количестве и нормативного качества) и живучести (способность противостоять аварийным возмущениям, не допуская каскадного развития аварий с массовым нарушением энергоснабжения потребителей) региональных энергосистем.

Перечень организационно-технических мероприятий:

- корректировка принципов планирования развития ЕЭС России (обеспечение самобаланса региональных энергосистем; схема размещения и структура генерирующих мощностей, включая ВИЭ; пропускная способность сечений энергосистем; развитие ЛИЭС; число и мощность СНЭЭ; объемы ценозависимого снижения электропотребления, включая агрегаторов спроса);
- сохранение в структуре генерирующих мощностей пылеугольных электростанций (на газовых электростанциях отсутствует резервное топливо, так как строительство отпаек от двух

магистральных газопроводов, питающихся от разных ниток, как правило, невозможно). Необходимо предусматривать возможность выработки электрической и тепловой энергии пылеугольными электростанциями с учетом ограничений по газу при низких температурах для покрытия графиков нагрузки без ограничения потребителей;

- планирование строительства/реконструкции тепловых электростанций с применением пиковых высокоманевренных ГТУ и массовое восстановление мини-ГЭС для участия в компенсации нестационарности выработки ВЭС и СЭС (участие в нормированном первичном регулировании частоты);

- корректировка принципов планирования вводов объектов на основе ВИЭ (общие объемы в региональных энергосистемах; предельные единичные мощности; используемые виды ВИЭ и др.) для интеграции в региональные энергосистемы;

- корректировка НТД по планированию режимов электроэнергетических систем на сутки вперед, с учетом объектов на основе ВИЭ (с СНЭЭ и без них), при внедрении систем краткосрочного и оперативного прогнозирования их выработки;

- корректировка оперативных указаний оперативно-технологическому персоналу субъектов электроэнергетики по ведению электроэнергетических режимов в условиях возникновения природных катаклизмов;

- разработка принципов построения объектов РЭ (ЛИЭС) различных типов на базе объектов РГ, а также методических рекомендаций по их проектированию и обособованию, предусматривающих возможность выделения в основной режим работы с нагрузкой. Это будет эффективным инструментом оптимизации

инвестиций в модернизацию генерирующего оборудования и строительство новых традиционных электростанций мощностью до 100 МВт. Позитивные эффекты обусловлены малыми сроками строительства ЛИЭС (1 – 1,5 года) и низкими удельными капитальными вложениями (в 2 – 4 раза меньше);

- разработка новых принципов построения и резервирования в распределительных сетях среднего (6 – 35 кВ) и низкого (0,4 кВ) напряжения (установка дополнительных высоковольтных выключателей; установка автоматизированных пунктов секционирования (реклоузеров); автоматизация сетей с созданием систем автоматического управления режимами; применение трансформаторов отбора мощности; организация резервирования нагрузки подстанций по сетям среднего напряжения и др.), а также методических рекомендаций по их проектированию для использования при строительстве новых и реконструкции действующих электросетевых объектов;

- разработка и поэтапная реализация каждым субъектом электроэнергетики программы реконструкции энергообъектов с целью их адаптации к климатическим изменениям (с разбивкой на первоочередной и последующие этапы в зависимости от величины риска);

- разработка перечня мероприятий для реализации эксплуатационно-ремонтным персоналом с целью обеспечения возможности функционирования оборудования при отклонении климатических условий от проектных;

- оценка тарифных последствий от изменений климата в различных регионах России для промышленных, коммерческих потребителей и населения, а также разработка комплекса мероприятий по минимизации их роста;

– разработка требований к программам повышения квалификации персонала субъектов электроэнергетики, включающим обучение действиям в условиях природных катаклизмов.

### Нормативно-правовое и нормативно-техническое регулирование

Для успешного развития и внедрения объектов РЭ (ЛИЭС) в России необходимо в НПА чётко определить цели, задачи и ожидаемые эффекты от их интеграции и функционирования в составе распределительных сетей.

В региональных энергосистемах с учётом местных особенностей следует определять, где, сколько, каких и когда вводить объектов РЭ (ЛИЭС) для повышения доступности и надёжности энергоснабжения потребителей.

Необходима разработка прозрачных механизмов получения и обоснованного распределения между субъектами электроэнергетики системных и локальных экономических эффектов от интеграции объектов РЭ (ЛИЭС).

Требуется снять нормативные ограничения на мощность объектов РЭ в составе объектов РЭ (ЛИЭС), оставив ограничение на величину перетока мощности из энергосистемы в ЛИЭС и обратно на уровне 25 МВт, так как эта величина определяет степень их влияния на режимы работы энергосистем.

Учитывая, что в ЛИЭС применяются, как правило, децентрализованные системы управления, в НТД следует установить технически обоснованные общесистемные требования к их интеграции и функционированию в составе распределительных сетей (региональных энергосистем).

Целесообразно внесение изменений и дополнений в Федеральные законы и Постановления Правительства Российской Федерации:

– от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» в целях исключения требования по разделению энергетического бизнеса по видам деятельности (генерация; передача; продажа электроэнергии) внутри объектов РЭ (ЛИЭС), работающих в составе ЕЭС России для снижения операционных расходов и повышения оперативности принятия управленческих решений;

– от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» в целях введения требования по обязательному рассмотрению вариантов теплоснабжения потребителей с использованием технологий распределённой энергетики при разработке схем теплоснабжения населённых пунктов;

– от 17 октября 2009 г. № 823 «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики» в целях включения информации по объектам РЭ для оптимизации затрат на сооружение электросетевых объектов и усиления

конкуренции на розничных рынках электроэнергии;

– от 22 февраля 2012 г. № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» в целях включения в схемы теплоснабжения муниципальных образований информации об объектах РЭ для определения: где, сколько, какой мощности и когда нужно вводить объектов РЭ для повышения доступности и надёжности теплоснабжения потребителей.

### Выводы

Рост тарифов на электрическую и тепловую энергию, снижение надёжности энергоснабжения промышленных потребителей привели к массовому строительству объектов РЭ. В отдельных случаях на базе объектов РЭ создаются объекты РЭ, обладающие значительными преимуществами.

Существенные отличия объектов РЭ (ЛИЭС) от объектов РЭ требуют установления для них технически обоснованных общесистемных требований к интеграции и функционированию в составе распределительных сетей.

Планы по декарбонизации и достижению углеродной нейтральности требуют развития ВИЭ, повышения энергоэффективности и энергосбережения, а также радикального преобразования технологических процессов в энергоёмких секторах экономики, включая электроэнергетику.

Климатические изменения будут оказывать влияние, как на строительство новых, так и на функционирование действующих объектов электроэнергетики, для чего необходима разработка комплекса компенсационных организационно-технических мероприятий. Реализация мероприятий потребует значительных капитальных и операционных расходов, что будет приводить к росту тарифов.

Стремление субъектов электроэнергетики к решению собственных локальных задач и получению максимальной прибыли может привести к разделению ЕЭС России на множество изолированных зон электроснабжения с большими объёмами производства и потребления электрической и тепловой энергии. Для сохранения целостности ЕЭС России необходимо поэтапное решение задач по максимизации общесистемных эффектов для последующего справедливого их распределения между всеми субъектами электроэнергетики.

Системный подход к развитию и внедрению РЭ и ВИЭ позволяет содействовать повышению доступности и надёжности энергоснабжения потребителей, обеспечению качества электроэнергии, максимальному использованию местных энергоресурсов, эффективному сочетанию систем централизованного и децентрализованного энергоснабжения для удовлетворения потребностей

потребителей в необходимых видах энергии в требуемых объёмах и по приемлемым ценам.

Создание благоприятных условий для развития коммунальных ЛИЭС, с интеграцией в них ВИЭ и СНЭЭ, позволит решить широкий круг вопросов, включая комбинированную выработку электрической и тепловой энергии, существенное снижение потерь, снижение темпов роста тарифов для бытовых и приравненных к ним потребителей, а также минимизация негативного влияния ВИЭ на электрооборудование и режимы работы энергосистем.

Развитие коммунальных ЛИЭС позволит повысить привлекательность региональной энергетики, содействовать притоку частных инвестиций в сферу малого энергетического бизнеса и развитию конкуренции на розничном рынке.

Для развития и внедрения объектов РЭ (ЛИЭС) необходимо внесение изменений и дополнений в действующие НПА и НТД, а также разработка методических документов по их проектированию и обоснованию применения.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №21-79-30013) в Институте энергетических исследований Российской академии наук.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воропай Н. И. Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем // *Электричество*. 2020. № 7. С. 12 – 21.
2. Тягунов М. Г. Цифровая трансформация и энергетика // *Энергетическая политика*. 2021. № 9 (163). С. 74 – 85.
3. Воропай Н. И. Проблемы развития цифровой энергетики в России / Н. И. Воропай, М. В. Губко, С. П. Ковалев, Л. В. Массель, Д. А. Новиков, А. Н. Райков, С. М. Сендеров, В. А. Стенников // *Проблемы управления*. 2019. № 1. С. 2 – 14.
4. Бык Ф. Л., Илюшин П. В., Мышкина Л. С. Особенности и перспективы развития распределённой энергетики в России // *Изв. высш. учеб. заведений. Сер. «Электромеханика»*. 2021. Т. 64. № 6. С. 78 – 87.
5. Илюшин П. В. Методы интеллектуального управления распределёнными энергоресурсами на базе цифровой платформы / П. В. Илюшин, С. П. Ковалев, А. Л. Куликов, А. А. Небера, Ф. С. Непша // *Библиотека электротехника*. 2021. № 8. — 116 с.
6. Бык Ф. Л., Мышкина Л. С. Надёжность объектов распределённой энергетики // *Надёжность и безопасность энергетики*. 2021. Т. 14. № 1. С. 45 – 51.
7. Бузузов В. А., Безруких П. П., Елистратов В. В. Российская возобновляемая энергетика // *Энергия единой сети*. 2021. № 3 (58). С. 70 – 77.
8. Оценка среднесрочных результатов технологического присоединения и перспективного развития сети ПАО «Россети» в 2012 – 2016 годах. — М.: ПАО «Россети», 2017. — 30 с.



9. Кучеров Ю. Н. Анализ общих технических требований к распределённым источникам энергии при их интеграции в энергосистему / Ю. Н. Кучеров, П. К. Березовский, Ф. В. Веселов, П. В. Илюшин // Электрические станции. 2016. № 3. С. 2 – 10.

10. Воропай Н. И., Стенников В. А. Централизованная и распределённая генерация — не альтернатива, а интеграция // Инновационная электроэнергетика — 21. — М. ООО «Издательско-аналитический центр Энергия». С. 272 – 290.

11. Мукатов Б. Б., Карджабаев Н. А., Фишов А. Г. Особенности обеспечения надёжности электроснабжения в изолированно работающих энергосистемах с малой генерацией // Докл. Акад. наук высш. школы Российской Федерации. 2015. № 4 (29). С. 94 – 104.

12. Папков Б. В., Шарыгин М. В. Организация договорных отношений для управления надёжностью электроснабжения потребителей // Энергетическая политика. 2013. № 3. С. 25 – 33.

13. Илюшин П. В. Перспективные направления развития распределительных сетей при интеграции локальных интеллектуальных энергосистем // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 4. С. 70 – 80.

14. Бык Ф. Л. Функции региональных сетевых компаний при интеграции локальных энергосистем / Ф. Л. Бык, В. Г. Васильев, В. А. Карпунин, Л. С. Мышкина // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 2 (59). С. 20 – 27.

15. Фишов А. Г. Исследование устойчивости параллельной работы локальной системы электроснабжения малой мощности с внешней электрической сетью энергосистемы / А. Г. Фишов, А. И. Марченко, В. В. Денисов, И. С. Мурашкина // Изв. РАН. Сер. «Энергетика». 2020. № 1. С. 116 – 127.

16. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации. — М.: Минэкономразвития России. 2019. — 85 с.

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30163/page/1>.

18. Стенников В. А., Пеньковский А. В. Рынок тепла: мировой опыт развития централизованного теплоснабжения // Энергетическая политика. 2021. № 10. С. 64 – 75.

19. Бык Ф. Л., Мышкина Л. С. Цифровые технологии и эффективность локальных энергосистем // В сб. «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетик». Материалы 93-го заседания семинара. В 2-х кн. Отв. редактор Н. И. Воропай. 2021. С. 99 – 107.

20. Восканян Е., Герасимов Е. Электроэнергетика для страны или страна для электроэнергетики // Газета «Энергетика и промышленность России». 2021. № 7 (411). С. 22 – 23.

21. Смертина П. Энергоцены выходят на максимум // Газета «Коммерсантъ». 11.05.2021. № 77/В. С. 1.



DOI: 10.34831/EP.2022.85.14.005  
УДК 621.3.051

## Технические и экономические аспекты создания миниридов и их интеграции с централизованным энергоснабжением

ФИШОВ А. Г., доктор техн. наук  
Новосибирский государственный технический университет  
630073, г. Новосибирск, просп. Карла Маркса, 20  
fishov@ngs.ru

Представлены результаты исследования целесообразности создания самобалансирующихся локальных интеллектуальных энергосистем (миниридов) на основе малой генерации с их интеграцией в существующие электрические сети централизованного энергоснабжения. Обосновывается предпочтительность развития распределённой по электрической сети малой генерации путём создания на её основе самобалансирующихся миниридов для обеспечения надёжности энергоснабжения, экономической эффективности использования генерирующего оборудования, а также соответствия требованиям при работе этого оборудования в составе ЕЭС России. Представляется технология создания и управления режимами миниридов с использованием специализированной системной автоматики, реализующей инновационные способы противоаварийного и режимного управления.

Ключевые слова: распределённая малая генерация, локальные системы энергоснабжения, минириды, электрическая сеть, параллельная работа, автоматика, эффективность.

Одним из основных трендов развития современной энергетики является децентрализация производства электроэнергии на основе распределённой малой генерации (МГ) для решения не только задач доступного и экономически эффективного энергоснабжения потребителей, но и сопутствующих, например, экологических задач при утилизации производственных и бытовых отходов, используемых в качестве исходного энергетического ресурса, удовлетворения общественного спроса на доступность энергетического бизнеса. Следует отметить, что если во многих странах основная доля МГ приходится на возобновляемые источники энергии [1], то в России, с учётом её климатических и территориальных особенностей, на основной территории доминирует потребность не только в электрической, но и в тепловой энергии, поэтому преимущественно развивается топливная когенерация электрической и тепловой энергии.

Создание локальных систем энергоснабжения на основе МГ неизбежно наталкивается на проблемы их низкой надёжности и экономической неэффективности использования генерирующих мощностей, а развитие распределённой МГ, интегрированной в существующие электрические сети, по ряду причин ведёт к снижению надёжности централизованного энергоснабжения или необходимости неоправданного увеличения резервов генерирующих мощностей для её сохранения [2].

Таковыми причинами определяется актуальность и высокая значимость за-

дачи определения путей развития управления режимами МГ, которые бы в максимальной степени усиливали экономические и социальные достоинства и подавляли негативные последствия развития распределённой МГ [3].

Создание самобалансирующихся миниридов (или локальных интеллектуальных энергосистем – ЛИЭС), рационально интегрированных с системами централизованного энергоснабжения, несомненно, один из основных путей развития МГ, а необходимой технологией, позволяющей достичь значительных результатов в данном направлении, является технология создания самобалансирующихся миниридов и их интеграции с сетями централизованного энергоснабжения.

Основой для создания миниридов могут служить:

- уже существующие или проектируемые локальные системы энергоснабжения (ЛЭС), представляющие собой системы энергоснабжения, состоящие из электростанции(ий) малой мощности (как правило, мини-ТЭЦ), электрических и тепловых распределительных сетей, электрических связей с региональной энергосистемой, системой горячего водоснабжения, обладающие общим энергетическим режимом и находящиеся под диспетчерским управлением из диспетчерского центра ЛЭС;

- районы существующих распределительных электрических сетей, сбалансированные по мощности с интегрируемыми в сеть генераторами малой мощности.