

УДК 621.311

## МАЛАЯ ГЕНЕРАЦИЯ – СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Л.С. Мышкина

Новосибирский государственный технический университет  
l-zakirova@yandex.ru

**Резюме:** Сегодня наблюдается увеличение количества когенерационных станций мощностью до 25 МВт. Предлагается подход, позволяющий осуществлять более эффективное использование малой генерации. Малая генерация, при объединении в изолированные локальные энергосистемы, может рассматриваться как эффективное средство обеспечения надежности и живучести электроснабжения отдельных территорий и энергосистемы в целом, что, в том числе, позволяет говорить о повышении энергобезопасности.

**Ключевые слова:** малая распределенная генерация, надежность, живучесть, изолированная энергосистема, эффективность.

## DISTRIBUTED GENERATION IS A MEANS OF INCREASING POWER SYSTEM SURVIVABILITY

L.S. Myshkina

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia  
l-zakirova@yandex.ru

**Abstract:** Today we observe an increase in the amount of cogeneration plants with capacity up to 25 MW. We offer the approach that allows more efficient use of distributed generation. Distributed generation, when combined in a isolated local power system, can be considered as an effective means of ensuring the reliability and survivability of individual territories and power system as a whole. And this, in turn, allows us to speak about improving energy security.

**Keywords:** distributed generation, reliability, survivability, isolated system, efficiency

### Введение

В настоящее время в электроэнергетике России складывается ситуация, когда в зоне влияния ЕЭС растет количество установленных мощностей малой генерации, которая кардинально меняет ландшафт производства электрической энергии. Наряду с концентрированным производством на крупных станциях, около 17 млн. кВт (около 8% установленной мощности электростанций России) приходится на так называемую распределенную малую генерацию (Стратегическая программа исследований. Технологическая платформа «Малая распределенная энергетика», 2012 г). Наблюдается постоянный рост доли малой распределенной генерации, обеспечивающей комбинированную выработку тепловой и электрической энергии. Примеры наблюдаются повсеместно, в том числе и в г. Новосибирске – это энергоустановки: мощностью 10 мВт, обеспечивающая тепло- и электроснабжение ж/м Березовый; 12 МВт, принадлежащая

ФГБУ «ННИИПК им. акад. Е.Н. Мешалкина» и другие объекты, суммарная установленная мощность которых сегодня составляет около 30 МВт, и ожидается ввод еще восьми энергоблоков мощностью около 80 МВт.

Эффективность малой генерации в зоне действия ЕЭС обуславливается множеством факторов. К основным причинам, обуславливающим данную тенденцию, можно отнести следующие:

- относительно невысокие капиталовложения и сжатые сроки строительства малой генерации, что обуславливает их достаточно быструю окупаемость в течение 5–7 лет, при существующих потребительских ценах на тепло и электроэнергию;
- непосредственная близость малой генерации к электроустановкам потребителей, что снижает сетевую составляющую в цене на электроэнергию;
- требования по переводу котельных мощностью свыше 5 МВт в когенерационный режим работы, установленные действующим Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2009 г. № 1221 «Об утверждении правил установления требований энергетической эффективности товаров, работы, услуг, размещение заказов на которые осуществляется для государственных и муниципальных нужд», что повышает эффективность использования топлива, обеспечивает рост энергоэффективности и энергосбережения на стадии производства и передачи электроэнергии.

Очевидно, что более массовый характер ввода малой генерации имеют в регионах, относящихся к дефицитным по электрической энергии. На сегодняшний момент таковыми являются 66 регионов из 85, в 45 из них дефицит достигает 1/3 от объема электропотребления и более. Следовательно, именно в данных регионах из-за сетевых ограничений зачастую наблюдается высокая стоимость, а иногда и отказ новым энергоемким потребителям в технологическом подключении к системам централизованного электроснабжения. При этом надежность электроснабжения указанных регионов прежде всего зависит от надежности электрических сетей, частота отказов которых, по данным ПАО «Россети», за последние 30 лет увеличилась более чем в 4 раза в сетях 6–20 кВ и в 7 раз – 110 кВ и выше (ПАО «Россети». URL: <http://www.rosseti.ru/>).

Сегодня уровень надежности в энергосистеме также нельзя назвать удовлетворительным. По данным Системного Оператора во время пика нагрузки более чем на 7,5 ГВт генерации находились в аварийном ремонте, что составляет около 18% от мощности нагрузки в часы максимума. Такие отключения нельзя назвать единичными выбросами, ежегодно наблюдается более 24 тысяч аварий и отказов оборудования [1]. 24 июля 2016 года было зарегистрировано деление ОЭС Сибири на 2 зоны по причинам отключения воздушных линий 500 кВ: «Енисей – Красноярская» и «Красноярская – Камала-1», соединяющих Восточную и Западную части Сибири. Это привело к отключению нагрузки на Красноярском алюминиевом заводе на 240 МВт [2]. Буквально через месяц, 22 августа из-за аварии на Рефтинской ГРЭС ОЭС Сибири вновь вышла в изолированный режим работы с разделением на 5 частей и отключением нагрузок в дефицитных частях [3].

Однако важно отметить, что, благодаря имеющейся сложнотамкнутой питающих и магистральных сетей, их избыточности и избыточности генерирующих мощностей, не все отказы сопровождаются ограничениями потребителей в электрической энергии. Только отказы элементов радиальной сети всегда связаны с отключением нагрузки. Линии электропередач 10–35 кВ, отходящие от центров питания к трансформаторным и распределительным пунктам, т.е. непосредственно к потребителю, – самое слабое место в обеспечении надежности электроснабжения. Одним из известных подходов сокращения отказов в радиальных сетях – их резервирование за счет установки у ответственных потребителей, имеющих нагрузку первой и особой категории по надежности, к примеру дизельных станций, обычно имеющих напряжение 0,4 кВ [4, 5 и др.].

В свете увеличения темпов ввода малой распределенной генерации, важно найти ответ на вопрос: «Каким образом можно повысить бесперебойность электроснабжения и живучесть энергосистемы за счет распределенной генерации?»

### **Использование малой генерации в России**

Сегодня общепринято малую генерацию рассматривать в двух вариантах использования:

- резервный источник питания для потребителей первой и особой категорий надежности;
- основной источник автономного электроснабжения потребителей на удаленных территориях.

Оба варианта имеют свои недостатки и сложности в функционировании. Если говорить об энергоблоках мощностью 5–25 МВт с генераторами более 1 МВт, работающими на напряжении 10 кВ, экономически неэффективно использовать в качестве резервных источников, если речь идет о жилых, общественных, административных, бытовых и иных запитанных потребителях от трансформаторных пунктов 10/0,4 кВ. Имеется некое «замораживание» мощностей и, следовательно, капитальных вложений.

Малые станции указанной мощности становятся эффективными при их участии в энергоснабжении выделенных районов. Однако автономная работа, так называемый островной режим по принципу самобаланса, сопровождается техническими трудностями, главным образом связанными с недостаточной маневренностью и управляемостью этих энергоисточников. Это обусловлено возможностями регуляторов скорости и возбуждения генераторов. Кроме этого, в автономном режиме для обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения требуется предусматривать соответствующие резервы генерирующей мощности в объеме не меньше, чем мощность самого крупного генератора.

### **Обеспечение надежности и живучести**

Малая распределенная генерация (МГ) может быть использована для обеспечения надежности энергосистемы, так как с ее появлением снижается нагрузка магистральных и питающих сетей, растут запасы пропускной способности сети, увеличиваются резервные трансформаторные мощности перезагруженных центров питания. Конечно, это потребует внести изменения в работу РЗ и ПА, в порядок взаимодействия систем управления режимами при ординарных условиях эксплуатации.

Особо следует отметить роль МГ для повышения живучести электроснабжения, что является важным в современных условиях, когда все чаще слышатся угрозы проявления терроризма, вандализма и проч. Согласно определению Системного оператора (АО «СО ЕЭС» [сайт]. URL: <http://so-ups.ru/>) живучесть – способность системы электроснабжения противостоять значительным возмущениям в энергосистеме, не допуская массовых нарушений снабжения потребителей в особых (не ординарных) условиях, т.е. при авариях и катастрофах. Исходя из данного представления, предлагается живучесть «измерять» количеством частей энергосистемы, способных работать изолированно на принципах самобаланса в неординарных условиях. Тогда рост живучести обусловлен ростом числа частей энергосистемы, которые можно выделить в качестве изолированного района по условию самобаланса. С ростом делимости больших энергосистем расширяется множество допустимых ее состояний, но это требует совершенствования систем управления и автоматики, совершенствования коммутирующего оборудования и проч.

Сегодня, согласно указанному выше Постановлению Правительства РФ от 31 декабря 2009 г. № 1221, наблюдается тренд по появлению малой генерации установленными мощностями агрегатов 1 МВт и более в центрах нагрузок. Поэтому, если исключить микрогенераторы, работающие с генераторным напряжением до 10 кВ, то

имеется два варианта их подключения к энергосистеме [4, 6]: к шинам 10 кВ в центрах питания (ЦП) или к шинам 10 кВ на распределительных пунктах (РП).

В первом случае растет надежность и повышается живучесть электроснабжения определенного района, но бесперебойность электроснабжения конкретных потребителей практически не изменится, т.к. она, в основном, определяется безотказностью распределительных линий 10 кВ. Анализ расчета режимов загрузки МГ, необходимый для обеспечения их экономической эффективности, показал, что мощность МГ, подключаемая к центру питания, не должна превышать 50% от мощности подключенных нагрузок, что позволяет избежать реверсивных перетоков в сети 110 кВ и выше. Кроме того, следует учитывать ограничение до 25 МВт, которое установлено для объектов малой генерации.

При подключении МГ к шинам 10 кВ РП существенно растет надежность и живучесть электроснабжения определенных потребителей, запитанных от указанных подстанций. Расчеты показали, что мощность МГ в этом случае не должна превышать 150% от мощности максимальной нагрузки. Это позволит, с одной стороны, обеспечить ее экономическую эффективность, а с другой – возможность выделения этой части в изолированный район при неординарных условиях.

С позиции набора необходимого объема нагрузки и достижения максимального уровня надежности, экономически целесообразно подключение малой генерации к центрам питания. Однако для обеспечения живучести и надежности определенных потребителей, подключение МГ должно производиться на уровне РП. Как показал анализ электрических режимов, в каждом из этих вариантов редко возникает необходимость кардинальных изменений в РЗ и ПА на районных подстанциях, но требуется предусмотреть автоматику по обеспечению устойчивости параллельной работы МГ с энергосистемой в нормальных и аварийных режимах. Один из способов решения этой задачи предлагается в работах [7, 8, 9].

Естественно, при наличии двустороннего питания определенного РП и при условии, когда мощность присоединенной к ней МГ  $1.5 * Location = 0.5 * District$ , с точки зрения надежности электроснабжения района (*District*) и обеспечения живучести потребителей в определенном месте (*Location*) эти варианты сопоставимы. Преимущество в части обеспечения надежности и живучести электроснабжения потребителей в определенном месте над другими, расположенными в районе действия центра питания, возникает в случае, когда  $1.5 * Location < 0.5 * District$ .

Поэтому, с учетом вышеуказанного, автором статьи в качестве следующего шага развития прогнозируется объединение «островных» малых станций в изолированные локальные энергосистемы (ИЛЭС), работающих на принципах самобаланса и обеспечивающих надежность и живучесть. Это предполагает объединение нескольких РП как без МГ, так с присоединенной МГ, но обеспечивающих электро- и теплоснабжение всех потребителей на этих РП. Достигнуть максимальной экономической и технической эффективности МГ можно путем выделения определенных шин 10 кВ на ЦП и их объединение. На рис. 1 показана принципиальная схема соединения такой ИЛЭС, построенной на принципе самобаланса.

Однако такое развитие потребует учета нескольких дополнительных аспектов:

- вопросов необходимости открыть МГ и ИЛЭС возможность работы на соответствующем розничном рынке;
- вопросов бесперебойности электроснабжения;
- вопросов повышения надежности параллельной работы МГ и энергосистемы.

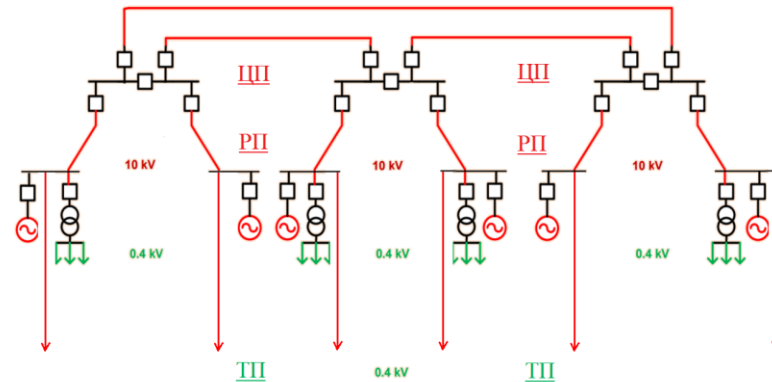


Рис. 1. Объединение малой генерации в ИЛЭС на шинах 10 кВ ТП

### Системная и объектная автоматика в ИЛЭС

Создание изолированных локальных энергосистем на базе малой генерации с применением традиционных технологий контроля и управления экономически неэффективно. Для реализации традиционных технических решений необходима достоверная и достаточная информация:

- о коммутационном состоянии электрической сети;
- для расчета режима узлов сети или перетоков мощности по линиям электропередачи.

Потребуется создание системы оперативно-диспетчерского управления, как это принято в «большой» энергосистеме, что не позволит возложить выполнение операторских функций на автоматическую систему, работающую в реальном времени [10]. Все это ведет к значительному увеличению стоимости установки 1 МВт мощности и лишает эффективности инвестиции в малую генерацию.

Решением в такой ситуации является создание новых технологий автоматического управления в нормальных и аварийных режимах работы и соответствующей инновационной автоматики. Примером такого решения, разработанного на кафедре «Автоматизированные электроэнергетические системы» Новосибирского государственного технического университета, является технология контроля устойчивости включенных в электрическую сеть синхронных машин по данным синхронизированных векторных измерений режимных параметров [7, 9]. В ее основе лежит определяемая по регистрограммам параметров текущего режима в узлах генерации актуальная обобщенная модель энергосистемы, характеризующая связь между ЭДС наблюдаемых генераторов или их эквивалентных групп. Технология предполагает использование синхронизированных измерений режимных параметров только в узлах подключения синхронных машин при естественных или искусственно создаваемых изменениях режима их работы.

Присоединение ИЛЭС к ЕЭС предполагает применение данной технологии в «большой» энергетике, что позволит осуществлять контроль устойчивости режима на различных иерархических уровнях управления энергосистемой [7, 8]. Указанная технология на сегодняшний день реализована в виде прототипа автоматики предотвращения нарушений устойчивости параллельной работы синхронных машин. Результаты проведенных испытаний на физической модели энергосистемы свидетельствуют о высокой точности определения предельных мощностей генераторов по статической устойчивости. Это обеспечивается непрерывной актуализацией рассчитываемых пределов, в том числе и в ходе изменения загрузки генераторов. Таким образом, экспериментально подтверждена работоспособность данного способа и его

перспективность для применения в режимной и противоаварийной автоматиках как в ИЛЭС с распределенной генерацией, так и в традиционных энергосистемах.

В процессе исследований особенностей режимов работы изолированных локальных энергосистем были определены требования к соответствующей автоматике.

- При возникновении больших возмущений режима должно быть предусмотрено автоматическое сбалансированное разделение ИЛЭС. Выбор сечения и реализация деления в качестве противоаварийного управления должны осуществляться автоматикой селективного деления.

- Для предотвращения снижения частоты необходимо автоматическое ограничение недопустимого снижения частоты за счет отключения части нагрузки с её последующим включением по мере ввода резерва и нормализации частоты.

- Для обеспечения функциональности ИЛЭС каждый энергоблок должен быть оснащен регуляторами скорости и возбуждения, блокировкой от несинхронных включений источников на параллельную работу.

- Напряжение на шинах электростанции должно поддерживаться с учетом падения напряжения в прилегающей сети.

### Эффекты создания ИЛЭС

В качестве объекта исследований рассматривалась энергосистема Новосибирской области, которая является дефицитной. Анализ работы ИЛЭС и ее живучести производился в рамках пилотного проекта объединения трех малых когенерационных станций г. Новосибирска, располагающихся в территориальной близости друг к другу: ТЭС ж/м Березовый, ТЭС ФГБУ «ННИИПК им. акад. Е.Н. Мешалкина» (ТЭС Клиники им. Мешалкина) и проектируемой ТЭС Правые Чемы, рис. 2.

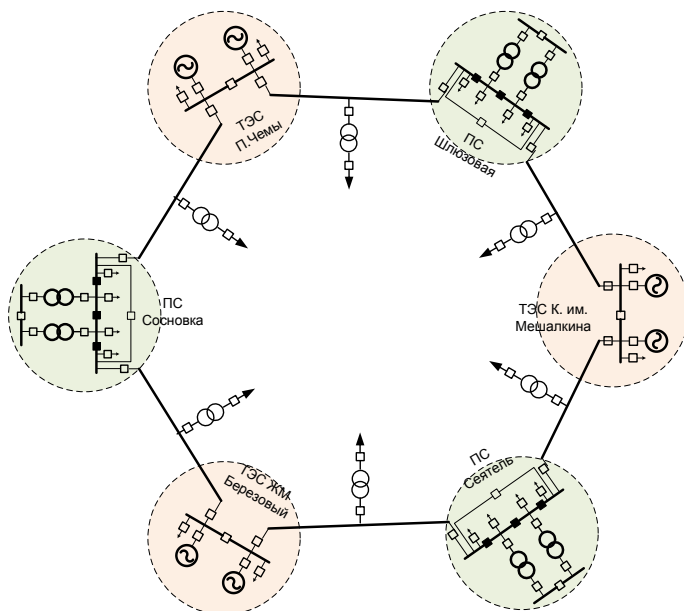


Рис. 2. ИЛЭС «Академическая», пилотный проект в г. Новосибирск

Затраты, связанные с объединением малых станций и подключением в энергосистеме через АВР, сопоставимы со стоимостью строительства нового энергоблока, однако за счет наличия системных эффектов, известных из «большой энергетики», это становится экономически эффективным.

Создание ИЛЭС ведет к расширению зоны влияния малых станций, что сопровождается появлением дополнительной нагрузки. Это, в свою очередь, ведет к более

экономичному режиму работы агрегатов, а следовательно – снижению себестоимости производимой энергии. Объединение станций, как известно из системных эффектов «большой энергетики», позволяет снизить объем собственных резервных мощностей, что также ведет к возможности набора дополнительной нагрузки. Кроме указанного, в ИЛЭС проявляются и другие эффекты, увеличивающие доходы станций при обеспечении требуемого качества и бесперебойности энергоснабжения потребителей, что сопровождается снижением конечных цен на тепло и электроэнергию.

### **Заключение**

1. Создание изолированных локальных энергосистем на базе малой генерации и их объединение сетями 10 кВ позволяет обеспечить эффективное использование объектов малой генерации для повышения надежности и живучести энергосистем, но требует разработки и апробации новых технических и технологических решений по автоматическому управлению в нормальных и аварийных режимах.

2. Предлагаемый вариант использования малой распределенной генерации позволяет обеспечить требуемый уровень бесперебойности и качества электроснабжения потребителей за счет резервирования распределительной сети 10 кВ, отказы в которой во многом определяют уровень надежности электроснабжения

3. Создаваемые на принципах самобаланса изолированные локальные энергосистемы при подключении на параллельную работу к ЕЭС позволяют повысить ее живучесть за счет увеличения числа частей системы, способных работать на самобалансе.

4. Повышение надежности и живучести системы электроснабжения позволяет говорить о повышении энергобезопасности территорий, регионов и страны в целом, что сегодня является довольно актуальным и важным направлением.

5. Указанные разработки могут стать основой отечественной концепции *Smart Grid* в части совершенствования систем мониторинга, контроля и управления электроснабжением потребителей.

### **Литература**

1. Фомичева А. Обещали, но не запустились: почему участились аварийные ремонты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://peretok.ru/generation/obeshchali-no-ne-zapustilis-rochemu-uchastilis-avariynye-remonty-.html>.

2. Красноярский алюминиевый завод оказался обесточен из-за аварии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.interfax.ru/russia/520250>.

3. Энергосистема Сибири перешла в изолированный режим из-за аварии на Рефтинской ГРЭС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tass.ru/proisshestviya/3557676>.

4. Родионова М. Распределенная генерация выходит из тени// Электроэнергия. Передача и распределение, 2015. № 3. С. 114–119.

5. Basudev Das, Dr Bimal C Deka. Impact of Distributed Generation on Reliability of Distribution System // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering. - Volume 8, Issue 1 (Nov. - Dec. 2013), p. 42-50

6. Илюшин П.В. Проблемные технические вопросы работы объектов распределенной генерации в составе энергосистемы и подходы к их решению. // Энергоэксперт. 2015. № 1. С. 58–62.

7. Патент 2500061 РФ. МПК H02N7/07,7/06,9/00,11/00. Способ контроля запасов устойчивости режима синхронных электрических машин, включенных в электрическую сеть / А. Г. Фишов; заявл. 02.12.2011; опубл. 27.11.2013. Бюл. № 33.

8. Fishov A., Shiller M., Dekhterev A., Fishov V.. Stability monitoring and control of generation based on the synchronized measurements in nodes of its connection // Journal of Energy and Power Engineering, NY, USA, 2015. 9(2015). P.59-67.

9. Денисов В.В., Фишов А.Г., Шиллер М.А. Макетирование и испытание системы контроля устойчивости генераторов по данным векторных измерений// Научные проблемы транспорта

Сибири и Дальнего Востока. 2014 . №1-2. С. 319–323.

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

#### **Автор публикации**

**Мышкина Людмила Сергеевна** – аспирант кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). E-mail: L-zakirova@yandex.ru.

#### **References**

1. Fomocheva A. They promised , but did not start , why frequent emergency repairs <http://peretok.ru/generation/obeshchali-no-ne-zapustilis-pochemu-uchastilis-avariynye-remonty-.html>

2. Krasnoyarsk Aluminium Smelter appeared energized because of an accident. <http://www.interfax.ru/russia/520250>

3. The power system of Siberia turned into isolated mode because of an accident at Reftinskaya station. <http://tass.ru/proisshestviya/3557676>

4. Rodionova M. Distributed generation comes out of the shadows // Electricity. Transmission and Distribution – № 3, 2015, pp. 114-119

5. Basudev Das, Dr Bimal C Deka. Impact of Distributed Generation on Reliability of Distribution System // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering. - Volume 8, Issue 1 (Nov. - Dec. 2013), p. 42-50

6. Iljushin P.V. Problematic issues of technical objects work as part of distributed generation power systems and approaches to their solution, Jenergojeksper - 2015 № 1. pp. 58-62.

7. A. G. Fishov Patent RF Patent N02N7 IPC /07.7/06/9/00.11/00 № 2500061. A method for controlling the stability of the regime reserves of synchronous electric machines that are included in the electricity network

8. Fishov A., Shiller M., Dekhterev A., Fishov V. Stability monitoring and control of generation based on the synchronized measurements in nodes of its connection // Journal of Energy and Power Engineering, NY, USA, 2015. , 9(2015) – p.59-67.

9. Denisov V.V., Fishev A.G., Shiller M.A. Modeling and testing of the system for monitoring the stability of generators based on vector measurements// Scientific problems of transport in Siberia and the Far East – № 1-2, 2014, p. 319-323

10. Kuchеров Yu. N., Berezovsky P.K., Veselov F.V., Ilyushin P.V. Analysis of technical regulations for distributed generation, integrated into power system // Power stations – №. 3, 2016, p. 2-10

#### **Authors of the publication**

**Lyudmila S. Myshkina** – PhD student, Department «Automated Electrical Power Systems», Novosibirsk State Technical University. E-mail: L-zakirova@yandex.ru.

**Поступила в редакцию**

**18 октября 2016 г.**