

Сети становятся умнее

[Ирик Имамутдинов](#), специальный корреспондент журнала [«Эксперт»](#)

Есть возможность сэкономить значительные средства на строительстве электростанций и новых распределительных и магистральных сетей. Для этого уже сейчас государству необходимо поставить задачу создания новой технологической платформы всей российской единой энергосистемы на базе интеллектуальных сетей



Рисунок: Константин Батынков

17 февраля председатель российского правительства **Владимир Путин** провел рабочую встречу с председателем правления ОАО [«Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы»](#) (ФСК ЕЭС) **Олегом Бударгиным**. На ней обсуждалось современное состояние российских сетей, перспективы создания интеллектуальных сетей и инвестиционные программы в этой области. Реализация «проекта на десятилетие», как назвал его Олег Бударгин, могла бы «загрузить» отечественную энергетическую науку и высшую школу, переломить ситуацию с подготовкой кадров и импортзамещением в пользу отечественной электротехнической промышленности и машиностроения.

Повышенное внимание к теме интеллектуальных сетей (Smart Grid, «умных», в России — активно-адаптивных сетей) — лишь один из сигналов о смене технологических приоритетов в электроэнергетике. Дело в том, что под развитием отрасли всегда понималось увеличение энергетических мощностей, ввод новых электростанций, и общественный интерес к модернизации был направлен именно в эту плоскость, а развитие электросетевой инфраструктуры рассматривалось во вторую очередь. На этом строился пиар так и не реализованных по срокам программ РАО ЕЭС (так называемое ГОЭЛРО-2) или атомного ФЦП. Из-за поднятого грамотными промоутерами из РАО и «Росатома» шума о готовности построить десятки новых станций мало кто слышал их оппонентов-технократов. Профессионалы же говорили о необходимости первоочередной модернизации уже существующих тепловых и атомных станций за счет повышения КПД и коэффициента использования установленной мощности, предлагали

обновлять и развивать сетевое хозяйство для «открытия» запертых мощностей и оптимизации потоков мощности и снижения процента потерь в сетях.

Теперь технократы могут усилить свои аргументы, предлагая оптимизировать модернизационные проекты в отрасли за счет «умных» сетей. Изначально предусматривающие оптимальное и технологичное подключение к сети небольших источников возобновляемой энергии, интеллектуальные сети быстро выросли из вспомогательного в одно из приоритетных направлений развития мировой электроэнергетики и могут стать эффективным средством модернизации и оптимизации энергетического и сетевого хозяйства в России. По данным ФСК, построение энергосистемы с интеллектуальной сетью позволит уменьшить потери в российских электрических сетях всех классов напряжения на 25%, что даст экономию порядка 34–35 млрд кВт·ч в год. Такой объем энергии в течение года вырабатывается несколькими электростанциями суммарной мощностью 7,5 ГВт. В ФСК не приводят данные о возможной благодаря внедрению такой сети оптимизации той же Генеральной схемы размещения энергообъектов до 2020 года, но академические институты менее политкорректны, и по их грубым оценкам, за счет развития такой сети можно уменьшить потребность в новых мощностях на 22 ГВт. Почти на 35 млрд долларов можно снизить объем капиталовложений в развитие распределительных и магистральных сетей за счет увеличения пропускной способности сетей по новым технологиям.

О состоянии российских электросетей и об особенностях внедрения интеллектуальных сетей в России мы поговорили с одним из самых авторитетных специалистов в области сетевых технологий **Владимиром Дорофеевым**, генеральным директором Научно-технического центра электроэнергетики, главной научной «дочки» ФСК, выполняющей исследования, нацеленные на развитие, модернизацию и техническое перевооружение магистральных и распределительных электрических сетей ЕЭС России.



Генеральный директор Научно-технического центра электроэнергетики Владимир Дорофеев считает, что интеллектуальные сети — новая технологическая платформа развития российской энергетики

Фото: Алексей Майшев для «Эксперта»

— Владимир Валерианович, не могли бы вы нарисовать общую картину того, как устроены наши электрические сети?

— Российские электросети можно поделить по классам напряжения. Нижний класс напряжения — 0,4 кВ, следующий — 6–10 кВ. Это в чистом виде распределительные сети: коммунальные, муниципальные. Сейчас вместо 10 кВ начинают внедрять сети

напряжением 20 кВ. Считается, что в будущем они станут основными для таких концентрированных структур потребления, как большие города.

— Это нужно для снижения потерь?

— Снижение потерь, конечно, тоже учитывается, но главное — возможность передачи больших объемов мощности, так как в городах значительно изменилась структура потребления — увеличилось потребление со стороны населения. Следующий класс — 35 кВ, когда-то он был более распространенным, сейчас используется намного меньше. Затем идут сети класса 110, 220, 330, 500, 750 кВ. Распределительные сети ОАО [«Холдинг МРСК»](#) работают в основном на напряжении от 10 до 220 кВ. Такое высокое напряжение, как 220 кВ, в мире для распределительных сетей не характерно. Но когда в российской энергетике происходило разделение по видам бизнеса, часть сетей 220 кВ, не являющихся системообразующими, попала в распределительные сетевые компании. А уже все системообразующие сети, которые связывают крупные узлы энергосистемы, 220, 330, 500, 750 кВ, были отнесены к Единой национальной электрической сети (ЕНЭС), которой управляет государственная Федеральная сетевая компания (по закону об электроэнергетике, ФСК управляет ЕНЭС или магистральными электрическими сетями. — «Эксперт»).

— Сети 350–750 кВ характерны, кажется, больше для Северо-Запада России.

— Исторически действительно сложилось так, что сети 330–750 кВ больше привязаны к Северо-Западу. Более же массовый класс трансформации ЕНЭС составляют сети 220–500 кВ, они фактически образуют костяк нашей энергосистемы, связывая между собой мощные энергоузлы, крупные узловы подстанции. Межсистемные связи, межрегиональные связи держатся в основном на напряжении 500 кВ. Такова самая общая картина устройства электросетевого хозяйства страны.

— В СМИ приводятся очень разные данные о техническом состоянии этих сетей.

— В Единой национальной сети сейчас работает много оборудования, эксплуатация которого превысила нормативные сроки. Особенно высока степень износа в сетях Европейской и Северо-Западной зон — в отдельных регионах здесь она достигает 60 процентов по некоторым видам оборудования. А в Сибири, например, оборудование более новое — как раз там сети 220–500 кВ развивались позднее. И самая новая техника у нас на Дальнем Востоке. В среднем по Единой национальной электрической сети физический износ составляет 50 процентов.

— Поясните, пожалуйста, что понимают под физическим износом. А то пугают чуть ли не стопроцентным старением энергетического оборудования, а оно продолжает работать.

— Если по-простому, то электротехника рассчитана на определенный срок службы — 25–30 лет. Если ее время от времени не восстанавливать, то провода начнут рваться, конструкции линий — ржаветь, будет изнашиваться изоляция у трансформаторов, работающих на подстанциях.

— Пресс-служба одной из западных компаний как-то хвасталась трансформатором, который работает у нас, где-то на Южном Урале, уже 75 лет. Едва ли срок службы этого аппарата превышает те же 30 лет. Значит ли это, что его физический износ превысил 200 процентов?

— Это конструкции трансформатора 75 лет, но ведь он за это время прошел целый ряд капитальных ремонтов. Понятно, что после проведения капремонта никаких новых качеств у этого оборудования не появится, просто восстанавливаются его физические свойства. Само же оно как принадлежало к технологическим достижениям пятидесятилетней или, как в приведенном вами примере, семидесятипятилетней давности, так и принадлежит. Тут начинает вступать в силу вторая составляющая износа техники — моральное устаревание. Появление новых качеств оборудования связывают уже с его реконструкцией.

— Моральное устаревание — это низкие КПД, скорости переключения и тому подобное?

— Моральный износ — это когда оборудование с точки зрения современных технологий уже неэффективно выполняет свои функции.

— А какой порог износа считается опасным для работоспособности сетей?

— Четкого определения опасного порога не существует. Но, с моей точки зрения, если фонды изношены на 60 процентов — это уже очень опасно. И именно для того, чтобы уйти от этого порога, основные усилия ФСК в последнее время были направлены на капитальный ремонт и на восстановление оборудования в ключевых энергоузлах. Были проведены и большие объемы реконструкционных работ — в Санкт-Петербурге, на Урале, в Тюмени.

— То есть опасный порог все-таки понизился за последнее время?

— Средств, вложенных в ЕНЭС за последние несколько лет, конечно, недостаточно для полного обновления оборудования и резкого снижения степени его износа. Но, по крайней мере, самые болевые точки были ликвидированы. Можно утверждать, что уровень износа в целом по системе удалось удержать.

— Можно ли оценить, какую долю потерь дают, например, дополнительные 10 процентов износа?

— Напрямую это не связано. Хотя вопрос правомерный. Конечно, на старом, пусть и регулярно ремонтируемом оборудовании стареет изоляция, происходят утечки, соответственно увеличиваются и потери. Но это немного, скажем, по сравнению с другими составляющими потерь, я бы назвал полпроцента. У нас же потери в сетях в целом, включая распределительные сети 0,4 кВ, сейчас составляют 13–14 процентов.

— То там, то здесь мелькают цифры общих потерь до 30 процентов.

— На отдельных территориях есть и такие потери. У нас, если говорить об ЕНЭС, средние потери составляют менее пяти процентов.

— Насколько я понимаю, ФСК занимается не только латанием дыр. Можно ли говорить об инвестициях в новые технологии, о каких-то системных инновациях в сетях компании?

— На комитете по стратегии при совете директоров ОАО [ФСК ЕЭС](#) мы рассматривали эти вопросы. Куда нам идти? Подлатали, как вы говорите, а дальше? Понятно, что появилась необходимость сделать анализ другого рода, а не просто мониторинг наших болевых точек: посмотреть вперед, сверить наши мысли с тем, что делается за рубежом. Если говорить о распределительных или даже о потребительских сетях, то там

в последние годы, как вы знаете, в связи с новыми сетевыми технологиями используется понятие Smart Grid (умные сети). Кстати, в Штатах, в европейских странах, в Китае в зависимости от разрабатывающих организаций применяется разная терминология: Future Grid, Empowered Grid, Wise Grid, Modern Grid, IntelliGrid. Мы в России говорим о так называемых активно-адаптивных, или интеллектуальных, сетях, правда, применительно ко всей сетевой системе, а не только к распределительной, как, например, в Европе.

— В Европе развитие «умных» сетей началось, кажется, в связи с увеличением доли альтернативной энергетики?

— Действительно, к ним пришли напрямую через развитие идей и технологий энергосбережения, энергоэффективности, альтернативных источников энергии. У таких источников, как, например, ветряные, плохо прогнозируемые характеристики работы, что затрудняет их общение и с общей сетью, и с потребителем. Когда дует «правильный» ветер, терять эту бесплатную энергию не хочется, и надо, чтобы сеть ее могла принять. А как регулировать соединение с сетью такого непостоянного генератора, чтобы его эффективно использовать? И вот тут как раз и начинает возникать масса проблем: у таких источников колеблется напряжение, частота, скорость ветра непостоянна — непостоянна и выдаваемая в сеть мощность. Причем, когда таких небольших источников генерации становится много, в электросети могут случиться проблемы уже системного характера. Появляются другие условия работы сети, другие условия управления ею.

— С этим больше проблем, вероятно, в европейских странах — например, в Дании, где ветровая энергетика занимает пятую часть в общем балансе, или в Германии, где высока доля возобновляемых источников генерации в целом?

— Понятно, что в отличие от традиционной энергетики альтернативная значительно сложнее в управлении. На тепловой электростанции подаешь топливо — энергоблоки работают, загружаешь мощности в зависимости от состояния потребления в сети, а возобновляемый источник зависит от ветра или солнца и работает, как было уже сказано, в малопрогнозируемых режимах. В ноябре 2006 года из-за скачков мощности, выдаваемой в сеть ветряками, стоящими вдоль Рейна, отключились две высоковольтные линии электропередачи и произошли каскадные отключения. В Бельгии, Германии, Испании, Италии и Франции пострадало несколько миллионов потребителей.

Это один аспект того, как в процессе решения проблемы эффективной безопасной интеграции возобновляемых источников энергии с общей сетью появилось понятие Smart Grid. Такие сетевые технологии уже позволяют, скажем, в той же Дании при увеличении мощности, выдаваемой в сеть ветряными станциями, оперативно и технологично снижать нагрузку тепловых, экономя органическое топливо и уменьшая выбросы, которые, как вы знаете, в Европе находятся под неусыпным наблюдением.

— Другая тема, связанная с развитием Smart Grid, — отношения потребителя и сети?

— Да, это второй аспект, который повлиял на развитие «умных» сетей. Потребители сейчас все больше задумываются о том, как наиболее эффективно с точки зрения энергосбережения использовать электроэнергию, и режим потребления становится более сложным. Усложняется управление нагрузкой сети в зависимости от спроса потребителей и от того, с какими источниками электроэнергии они работают, — здесь я возвращусь к примеру с ветряной электростанцией. Потребитель, поставив у себя ветрогенератор, получил, казалось бы, бесплатный источник энергии и, соответственно, экономии,

но ветер-то не всегда дует с нужной скоростью, поэтому потребителю нужен еще и другой источник надежного энергоснабжения — сеть. А раз потребитель (или группа потребителей) соединен с сетью и то включается в нее, то отключается, запитываясь, к примеру, от автономного источника и меняя режимы загрузки от сети, то появляется и необходимость оперативно и технологически безопасно согласовать его работу с сетью. Все это предполагает и другую — интеллектуальную — идеологию управления сетью.

— У нас в балансе производства электроэнергии возобновляемой энергетики полпроцента, максимум процент. Собираемся довести ее долю всего до четырех процентов к 2020 году. Едва ли тема «умных» сетей так актуальна для нас, прежде всего в связи с альтернативными источниками генерации.

— Конечно, в России возобновляемых источников генерации намного меньше, чем, например, в названных вами странах, но ведь вопросы энергосбережения, экономии энергоресурсов и всего того, что с этим связано, у нас тоже встают все острее. К тому же возобновляемые источники у нас, конечно, будут развиваться, и надо загодя создавать такие условия, чтобы в будущем не возникало проблем с их сетевой адаптацией.

Но не это главное, когда мы говорим о развитии активно-адаптивных, или интеллектуальных, сетей в нашей стране. Разве в наших электросетях, в ЕЭС России мало своих оригинальных, отличных от мировых проблем?

Единая система создавалась в советское время совсем для других условий работы. От нее у нас сохранилась уникальная по охвату территории — нигде в мире нет такой — конфигурация сетей с параллельной работой и высоким уровнем централизации оперативного управления всей ЕЭС. При этом кроме изрядно морально и физически изношенных основных фондов мы имеем новую структуру хозяйственной деятельности тысяч субъектов электроэнергетического рынка. Для обеспечения безопасности и надежности энергоснабжения сегодня важно сохранить технологическую целостность ЕЭС. Поэтому именно сейчас надо ставить задачу, по сути, создания новой технологической платформы российской единой энергосистемы на базе активно-адаптивных сетей. Причем создание этой платформы должно стать принципиально новым подходом в развитии ЕЭС России как целостной системы, который по масштабам и последствиям не уступит преобразованиям, сделанным в ходе ее создания в 50–70-х годах прошлого столетия.

— В чем принципиальная новизна планируемых вами системных изменений?

— Традиционно речь идет о двух активных групповых субъектах энергосистемы — генераторах и потребителях; сетям отводится как бы вспомогательная роль. И вся традиционная система управления построена таким образом, чтобы сбалансировать потребление и генерацию, управляя генерацией так, чтобы обеспечить потребителя. Элементы же «умной» сети позволяют создать активно-адаптивную сетевую инфраструктуру как третий активный субъект энергосистемы.

— Честно говоря, пока не очень понятно концептуальное различие роли электросетей в традиционной системе электроэнергетики и в будущей с технологической точки зрения.

— Что в традиционной системе делает сеть? Сеть соединяет генераторов с потребителями: от станции протянули провода, поставили трансформаторные подстанции, между ними и потребителем опять протянули провода. Есть понятие топологии сети, в которой идет распределение электрического тока по законам Ома и Кирхгофа, основополагающим

в электротехнике. Включили источник в определенном месте, а электроэнергия растеклась по сети в зависимости от ее топологии и от того, какие уровни напряжения в ней поддерживаются, какие сопротивления в каких-то определенных точках сети есть. И вот в этой системе сеть — пассивный элемент: ток течет в ней в зависимости от уже существующей конфигурации и изменений нагрузки потребителей.

Сейчас, в том числе у нас, появляются различные технологические элементы, такие, к примеру, как FACTS (Flexible AC Transmission System — гибкие передающие системы переменного тока. — «Эксперт»). Их работа — те же FACTS увеличивают реальную пропускную способность сети, допустимую ее загрузку, дают возможность менять характеристики сети — позволяет сделать третий элемент энергосистемы, сеть, активным. Энергосистема с активно-адаптивной сетью называется так потому, что у нее начинают появляться такие элементы, при этом она, естественно, использует те же законы Ома и Кирхгофа, но уже *активно* меняет свои параметры в зависимости от изменяющегося режима потребления и заложенных в эти элементы алгоритмов реакции на эти изменения, то есть *адаптивно*.

— То есть мы берем обычный провод, включаем в него какой-нибудь элемент силовой электроники с компьютерным анализатором и управлением и имеем уже часть «умной» сети?

— Провод он и есть провод. У него определенное сечение и сопротивление. В этот провод включается активный элемент, который, к примеру, может менять сопротивление этой связи. И если взять два параллельных провода, по которым раньше, при пассивной сети, электричество протекало абсолютно одинаково, то при включении в работу этого «умного» элемента один из проводов начнет менять сопротивление, а значит, брать на себя больше или меньше нагрузки. Пойдет такое упрощенное объяснение роли активных элементов в сети? Если таких элементов становится много, то встает задача: а как ими всеми управлять? А вот для этого нужна очень серьезная, интеллектуальная, гибкая система, которая сочетает локальное и централизованное управление с системой сбора и передачи больших объемов информации. При этом у нее мощные вычислительные средства для анализа и прогнозирования обстановки в энергосистеме в целом и на отдельных участках и она может быстро реагировать на эти изменения.

— Значит, адаптивность сети обеспечивает система датчиков, активных элементов, имеющих обратную связь с этой системой управления?

— Именно так. Кроме того, необходимы системы телекоммуникаций, системы обработки этой информации, а это сотни тысяч сигналов и результатов измерений с тысяч таких вот точек, которые должны быть обработаны по специальным алгоритмам. Такие алгоритмы оценки состояния системы существуют уже сейчас, но они «медленные», и если всю эту сотню тысяч измерений сейчас в систему запустить, они будут обрабатываться часами. А нужно, чтобы решения принимались в секунды. Поэтому необходима разработка специальных фильтров, которые эту информацию отсеивали бы на разных уровнях. Специальные алгоритмы обработки этой информации, чтобы время реакции системы было соизмеримо с текущим процессом в системе. Все это предполагает огромную научную и опытно-конструкторскую работу именно наших ученых и специалистов, знающих наши системные реальности и оборудование: электротехников, энергетиков, программистов, математиков, связистов. И загрузку наших же предприятий — электротехнических, электронных, программистских, инжиниринговых.

— Когда мы говорим о внедрении таких систем, то сразу начинаем затрагивать интересы просто огромного числа субъектов энергорынка...

— В конечном итоге мы считаем, что интеллектуальная энергосистема — это новая технологическая платформа энергетики, я подчеркиваю каждые три слова: «технологическая», «платформа» и «энергетики». Ее создание не просто задача сетевых компаний, это задача всех субъектов отрасли. Технологическое единство энергосистемы существует из-за элементарного, казалось бы, условия, что все это работает с единой частотой электрического тока. Если частота тока будет разная, система распадается. Сохранение этого единства, решение задачи развития интеллектуальных систем — в интересах всех. Эта технологическая платформа, безусловно, должна быть обеспечена целым рядом нормативных документов. В первую очередь мы ставим вопрос о том, что должен быть разработан так называемый *системный кодекс*. В развитых странах существуют сетевые кодексы. Мы же предпочитаем говорить о системном кодексе, поскольку он будет касаться всех субъектов рынка.