

Планирование развития распределительных электрических сетей: зарубежный опыт

Андрей Калибердин

генеральный директор ОАО «МИП», канд. экон. наук

Валерий Эдельман

исполнительный директор ОАО «НИИЭЭ», докт. экон. наук, профессор

Владимир Белобров

заведующий лабораторией ОАО «НИИЭЭ»

Развитие конкуренции на рынке электроэнергии и дезинтеграция энергокомпаний существенно усложнили процессы управления отраслью и обеспечения надежности энергоснабжения: сегодня масштабные отключения в периоды пиковых нагрузок могут стать вполне реальной катастрофой для энергоснабжения крупных городов, поэтому от электросетевых компаний потребовалась разработка и внедрение специальных планов оперативного реагирования на такие ситуации. Соответственно, возросли требования к качеству планирования развития распределительных электрических сетей и прогнозированию максимальных электрических нагрузок средних и мелких потребителей.

Электроэнергетика: бизнес прежде всего!

В отличие от России, становление и развитие электроэнергетики которой происходило в условиях социалистического, централизованного и планового, ведения хозяйства, зарубежные энергокомпании изначально создавались и развивались в условиях децентрализованной конкурентной капиталистической эко-

номики, подверженной ярко выраженным циклическим изменениям и кризисам.

Соответственно, отношение общества к энергокомпаниям в России и за рубежом существенно различается (рисунок): если в советские времена энергетика однозначно оценивалась как общественно значимая услуга с последующим (в 1990-е гг.) осознанием ее естественно-монопольного

положения, то в капиталистическом обществе энергетика прежде всего воспринимается как эффективный бизнес, затем — как естественная монополия (на современном этапе — в части передачи и распределения энергии и диспетчеризации) и только потом — как общественно значимая услуга¹.

В этих условиях зарубежные энергокомпании изначально строили

¹ При этом понятие общественной значимости энергетики трактуется на Западе, скорее, в контексте обеспечения устойчивости энергокомпаний, чем в контексте «дойной коровы» экономики и социальной сферы, как это еще практикуется в России.

свое развитие на принципах, коренным образом отличающихся от отечественных: на первое место ставилась коммерческая эффективность, а в процессе ее достижения как один из главных рисков учитывалась недоверенность имеющихся прогнозов (не только собственно спроса на услуги энергокомпаний, но и целого ряда других факторов). Поэтому зарубежные энергокомпании концентрируют свое внимание не столько на проблемах достоверности прогнозов энергопотребления на обслуживаемых ими территориях (хотя важность этой проблемы признается), сколько на оптимизации параметров своего развития в условиях нечеткой прогнозной информации.

Типовые подходы энергокомпаний к планированию развития распределительных электросетей

В течение нескольких десятков лет энергетические компании за рубежом основное внимание уделяли развитию генерирующего комплекса. Однако в последнее десятилетие под воздействием реформирования отрасли в большинстве экономически развитых стран эта ситуация начала меняться. Так, если в середине 1970-х гг. в отраслевой структуре инвестиций США на долю затрат по передаче и распределению электроэнергии приходилось 30—32% от совокупных затрат, то в конце 1990-х гг. эта составляющая возросла до 45—47%. Несмотря на отмеченный рост, в правительственном докладе «Национальная энергетическая политика США» (май 2001 г.) указывалось, что «...ограниченная пропускная способность связей не позволяет в общем случае заменить производство электроэнергии передачей мощности и электроэнергией из «избыточных регионов» и препятствует повышению надежности электроснабжения потребителей и дальнейшему развитию бизнеса». Выводом доклада явилось подтверждение необходимости строительства новых магистральных

линий электропередачи. Такая же тенденция имеет место и в европейских странах.

Основным движущим фактором осуществления капитальных затрат для большинства распределительных энергокомпаний в мире сегодня является обеспечение пропускной способности сетей, необходимой для удовлетворения прогнозируемого уровня спроса, так как:

- увеличение загруженности систем в последние десятилетия, как правило, не сопровождалось существенными капиталовложениями;
- пик потребления в энергосистемах в целом все чаще достигается преимущественно в летний период из-за нагрузок по кондиционированию воздуха;

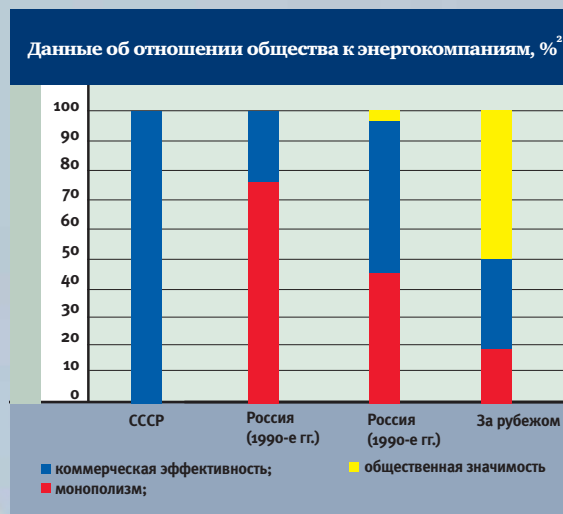
- существенное изменение структуры конечного потребления электроэнергии приводит к ощутимым последствиям для сети.

На существенные изменения процесса планирования повлияли также следующие внешние факторы:

- разработка жестких законов о защите окружающей среды;
- изменение системы регулирования и рост внимания к управлению спросом как возможные альтернативы расширению сетей;
- рост участия общественности и прочих заинтересованных сторон в принятии решений по размещению новых объектов и прокладке сетей.

Большинство распределительных энергокомпаний промышленно развитых стран строят среднесрочные (на пять лет) и долгосрочные планы своего развития, имеющие основной целью удовлетворение прогнозируемого спроса на поставку электроэнергии через принадлежащие данным компаниям электрические сети. Разрабатываемые планы основываются на информации и оценках, доступных на момент планирования, и ежегодно пересматриваются (верифицируются).

Поскольку риск недостаточной способности сети обеспечить беспере-



бойные поставки электроэнергии в некоторых ее частях в условиях одновременного наступления нескольких критических ситуаций (например, неожиданный выход из строя крупной электростанции в период экстремально высоких летних температур (в южных широтах)) существует всегда, энергокомпании создают системы управления рисками, позволяющие оценивать риск возникновения сбоев при поставке электроэнергии потребителям. На основе полученных с помощью этих систем результатов энергокомпании планируют вносить изменения в первую очередь в те части сети, где риск оправдывает затраты на данные изменения.

Некоторые энергетические компании (обычно обслуживающие территории с высокой плотностью нагрузки типа мегаполисов) практикуют ежегодные выплаты в пользу сторонников несетевых альтернатив (встроенная выработка, управление спросом, энергосбережение и т. п.), в случае если подобные альтернативы позволяют отсрочить или избежать необходимости расширять и модернизировать принадлежащие этим энергокомпаниям распределительные сети.

Для тех же частей сети, где риск сбоев энергоснабжения очень низок, на случай непредвиденных обстоятельств разрабатываются пла-

² Данная диаграмма носит сугубо демонстрационный характер и ни на каких исследованиях не основывается.

ны, призванные минимизировать отрицательные последствия потери энергоснабжения для потребителей.

Методики планирования сети, принятые в энергокомпаниях, должны учитывать все требования, связанные с вышеперечисленными факторами. Как правило, такие методики предполагают, во-первых, сбор данных о планах потребителей, во-вторых, всеобъемлющий анализ всех индикаторов и тенденций для прогнозирования будущих требований к сети. Данный этап включает прогнозирование уровня экономической активности, местных моделей роста, ожиданий регулирующих органов и потребителей и оценку рисков. Основным результатом процесса планирования является стратегический пятилетний план развития сетевого хозяйства. Этот план содержит детализированную программу расширения сети на первые три года, призванную обеспечить соответствие характеристик работы системы целевым показателям.

Стандарты надежности и обеспечения бесперебойных поставок электроэнергии при планировании распределительной сети являются базой при принятии решений, касающихся наиболее подходящих способов снабжения потребителей, и связаны с дополнительными экономическими издержками для потребителей. Поэтому энергокомпания стараются поддерживать баланс между тем уровнем надежности, поддержание которого считается целесообразным, и ценой электроэнергии для потребителей.

Применение стандартов надежности при планировании распределительной сети способствует более эффективному решению проблемы снабжения потребителей в периоды, когда отдельные части системы не работают в связи с запланированными мероприятиями (например, регулярное техническое обслуживание) или из-за непредвиденных обстоятельств (грозы, ураганы, пожары и т. п.).

Основные стадии процесса планирования развития распределительных электрических сетей

Прогнозирование спроса

На данной стадии оценивается будущий спрос на электрическую мощность, необходимую для обеспечения присоединенных к сети потребителей. Среди основных критериев планирования прогнозирование спроса на электрическую мощность сети (*network load demand*), возможно, является наиболее сложным ввиду его вероятностной и непредсказуемой природы, поскольку данный спрос зависит от ряда факторов, таких как температура окружающего воздуха, климат и особенно характер роста нагрузки. Рост нагрузки ежегодно меняется и не является единообразным в рамках сети в целом: в отдельных частях сети нагрузка может возрастать в три-четыре раза быстрее среднего, в то время как в других частях сети роста не будет совсем.

Прогнозирование спроса на электрическую мощность имеет существенное значение, поскольку оно является ключевым фактором для определения капитальных затрат, поэтому необходим минимум пятилетний прогноз максимального летнего и зимнего уровня спроса на всех терминальных станциях, зонных подстанциях и распределительных линиях высокого напряжения.

На этой же стадии разрабатываются планы чрезвычайных мер на случай возникновения различных непредвиденных обстоятельств, характеризующихся низкой вероятностью возникновения, но имеющих серьезные последствия для потребителей.

Выявление дефицита пропускной способности сетей и оценка технической осуществимости альтернативных вариантов

На данной стадии осуществляется математическое моделирование сети в целом, для того чтобы установить ее способность удовлетворять прогнозируемым требованиям (к пропускной способности), включая состояние

отдельных компонентов относительно нагрузки линий и уровней напряжения, а также нормальных и чрезвычайных условий. Результаты моделирования используются для выявления того, какие потенциальные несоответствия могут возникнуть в будущем и где, а также для определения, какие варианты расширения или функционирования удовлетворяют требованиям и пригодны для реализации. Текущие темпы технологического развития обуславливают необходимость постоянной оценки новых подходов и технологий. Рассматриваемые варианты также должны быть оценены с точки зрения эффективности и надежности в рамках интегрированной системы принятия решений компании. Точное моделирование требует высокого уровня понимания в отношении комплексного поведения всех элементов системы, таких как линии, трансформаторы и конденсаторы.

Финансовый анализ

На данной стадии варианты, отвечающие необходимым техническим условиям и критериям эффективности функционирования, подвергаются финансовому анализу, включающему определение совокупных затрат в течение срока службы. Отдельные компоненты сети могут иметь срок службы более 60 лет, и затраты за этот срок могут служить существенным фактором.

По результатам анализа определяется приоритетность проектов исходя из принципа получения максимальной выгоды при минимальных издержках для потребителей. Данный анализ завершается формированием пятилетнего стратегического плана развития сети.

Локальные прогнозы, которые выполняются для каждой из зонных подстанций, являются ключевыми исходными данными для определения уровня будущих капитальных расходов и (или) принятия решений по управлению спросом, чтобы удовлетворить рост нагрузки на сеть. Глобальные же прогнозы пикового спро-

са для системы в целом используются только для логической проверки местных прогнозов, а также для того, чтобы убедиться в согласованности прогнозов пиковых нагрузок с прогнозами электропотребления.

Последствия урбанизации для роста нагрузки могут быть включены в глобальные модели, однако это, как правило, дает мало информации о требованиях, связанных с местным развитием, так как нескорректированные данные по совокупному спросу для системы в целом маскируют детали, характерные для отдельных участков системы, и практически не отражают особенности роста местного спроса. Поэтому основным прямым индикатором будущего роста спроса служат заявки потребителей на присоединение к сети высокого напряжения. При этом на уровне зонных подстанций, который является базовым для прогнозов при планировании развития распределительных сетей, демографические и другие изменения должны выводиться из более глобальных ожиданий.

Нестандартные методы прогнозирования являются достаточно эффективными для получения глобальных прогнозов, особенно при оценке электропотребления, однако по ряду причин они не пригодны для получения прогноза локального спроса, который в значительной степени (примерно на 50%) определяет уровень капиталовложений в распределительные сети. Причины здесь следующие:

- недостаток сопоставимых временных рядов данных в связи с быстрым изменением границ районов нагрузки не позволяет в полной мере выполнить краткосрочные требования к планированию и управлению (переводы нагрузок часто не фиксируются надлежащим образом);
- незафиксированные изменения уровня потребления;
- недостаток подробной информации о распределении клиентов по небольшим участкам районов;
- естественная дисперсия небольших генеральных совокупностей

(особенно спроса со стороны населения);

- недостаток информации о местных погодных условиях;
- неожиданные и необъективные запросы потребителей;
- достоверная информация об уровне спроса (пиках и времени их возникновения) за продолжительный период времени существует только в отношении крупных потребителей.

По вышеперечисленным причинам прогнозы локального спроса для распределительных сетей основываются на применении сложного метода, который использует:

- ретроспективные данные о тенденциях нагрузки на сетевое оборудование;
- заявки потребителей на новые присоединения к сети;
- оценку демографической тенденции в будущем, оценку тенденции развития и информацию о потребителях (если она доступна) наряду с информацией об особенностях местного планирования;
- количественную оценку и управление рисками (для максимизации гибкости и обеспечения принятия наиболее оптимальных решений, основанных на новейшей информации);
- агрегацию для сравнения с прогнозом по системе в целом в качестве важного способа проверки достоверности прогнозов.

Глобальные, или относящиеся к системе в целом, прогнозы электропотребления и пикового спроса энергокомпаний, как правило, базируются на моделировании и анализе исторических и ожидаемых тенденций на рынке электроэнергии, экономических и демографических условиях, сложившихся в обслуживаемых сетях компаний регионах. При разработке прогнозов учитывается воздействие следующих факторов:

- деловая активность;
- число потребителей среди населения и характеристика данных потребителей, в том числе по наличию электробытовых приборов;
- цены на газ и электроэнергию;

- взаимозаменяемость видов топлива и тенденция изменения доли энергетического рынка, включая конкуренцию со стороны газа и солнечной энергии;

- повышение эффективности энергосбережения и экологические последствия;

- влияние краткосрочных периодов аномальных погодных условий и типа дня;

- возможность возникновения неопределенности (политической, экономической, рыночной), связанной с будущими тенденциями в вышеперечисленных областях.

Для выявления степени взаимозависимости между ростом нагрузки и вышеуказанными факторами применяются эконометрические модели и моделирование конечного потребления. Анализ включает дезагрегированный подход: перспективы для сектора населения и остальных секторов потребителей оцениваются и прогнозируются отдельно с использованием устойчивых статистических моделей.

Для учета внутренней неопределенности, связанной с предсказанием будущих тенденций, и факторов, обуславливающих электропотребление, рассматривается ряд перспективных оценок, соответствующих трем вероятным сценариям развития экономики и энергетического рынка (высокий, ожидаемый и низкий рост).

Частью процесса прогнозирования является регулярная проверка и пересмотр прогнозов. Отклонения прогнозных значений от фактического уровня потребления анализируются на предмет влияния аномальных погодных условий или ошибочных предположений во входных данных. Регулярный процесс пересмотра прогнозов позволяет понять: соответствуют ли прогнозным значениям потребления целевому уровню, или они ближе к результатам сценариев высокого или низкого роста. Уровень электропотребления отслеживается ежемесячно с целью отделения последствий, связанных с аномальными по-

годными условиями и типом дня, что позволяет выявить основополагающую тенденцию изменения электропотребления.

Формальный пересмотр прогнозов происходит чаще всего два раза в год одновременно с переоценкой прогнозов пикового зимнего и летнего спроса.

Законодательное обеспечение процесса планирования развития распределительных электросетей (на примере Англии и Шотландии)

В соответствии с Условием № 25 Стандартного лицензионного соглашения на право осуществления деятельности по распределению электроэнергии, разработанного в соответствии с Законом об электроэнергетике Великобритании (*Electricity Act 1989, Utilities Act 2000*) сетевыми компаниями Великобритании ежегодно подготавливаются Отчеты о долгосрочном развитии распределительных сетей (*The Distribution Long Term Development Statement*) (ОДРПС), которые содержат информацию о функционировании лицензированных распределительных систем британских компаний и планы их развития на пять лет вперед.

Целью ОДРПС является предоставление такой информации о распределительной системе, которая может оказаться полезной для разработчиков сетей, имеющих намерение присоединиться или использовать систему. Представленные данные позволят разработчикам выявить возможности для развития и оценить потенциальную производительность сети.

Планы будущего развития сетевого комплекса призваны проинформировать существующих и потенциальных пользователей о серьезных изменениях в системе, которые могут повлиять на их собственные планы развития.

Помимо этого, Сетевой кодекс Великобритании требует, чтобы распределительные энергокомпании страны в качестве потребителей услуг *The National Grid Company* регулярно

предоставляли в ее адрес планы своего развития на семь лет вперед.

Вместе с тем Условие № 39 Стандартного лицензионного соглашения на право осуществления деятельности по распределению электроэнергии требует, чтобы энергокомпании ограничивали доступ к некоторым видам информации коммерческого или конфиденциального характера, связанной с развитием своих сетей, поскольку это может помешать конкуренции.

С другой стороны, британское законодательство налагает серьезную ответственность за планирование развития распределительных сетей на потребителей их услуг. В частности, в Кодексе планирования распределения и подключения Великобритании (*Demand Planning and Connection Code — DPC*) говорится, что предполагаемые и существующие пользователи во исполнение условий лицензии на распределение электроэнергии обязаны предоставить по просьбе компаний — операторов распределительных сетей (далее — ОРС) достаточную информацию о планировании. Требуемая информация о планировании относится к одной из двух категорий: стандартной информации о планировании и подробной информации о планировании. ОРС могут предоставлять для заполнения примерные списки стандартной и подробной информации о планировании, прикладывая при этом максимальные усилия для минимизации сложности и детализации требуемой информации.

Данные списки являются частью Распределительного Кодекса (раздела регистрации информации о распределении электроэнергии). Стандартная информация о планировании может включать данные о:

- местоположении присоединения и дате осуществления присоединения;
- схемах оборудования, а также типах и электрической нагрузке оборудования;
- максимальных и минимальных параметрах активной и реактивной

мощности и пр., а также подробности любой схемы управления нагрузкой.

Подробная информация о планировании включает данные о спросе и колебаниях нагрузки. В некоторых случаях предоставление подробной информации требуется для оценки воздействия нагрузки присоединяемого пользователя на распределительную систему.

Для целей Кодекса планирования распределения и подключения предоставляемой пользователями информации о планировании может быть присвоен один из трех статусов:

- предварительная информация о планировании по проекту — информация, предоставляемая пользователем при подаче заявки на присоединение или использование системы до момента подписания Договора о присоединении (использовании) системы между ОРС и заявителем (считается конфиденциальной). Предварительная информация о планировании по проекту, как правило, содержит только стандартную информацию о планировании за исключением случаев, когда подробная информация о планировании необходима ОРС для более тщательного изучения системы;
- информация о планировании по реализуемому проекту (в случае, когда Договор о присоединении/использовании системы уже заключен) — информация, связанная с развитием пользователя, а также последующая информация, предоставляемая пользователем ОРС согласно Кодексу планирования распределения и подключения. Такая информация формирует основу для прогнозирования будущих заявок других пользователей, а также для планирования распределительной системы ОРС. Информация о планировании по реализуемому проекту может содержать как стандартную информацию о планировании, так и подробную информацию о планировании;
- информация о планировании по зарегистрированному проекту — любые оценочные показатели, содер-

жавшиеся в информации о планировании по реализуемому проекту до момента осуществления физического присоединения пользователя (для всех пользователей, кроме присоединенных по низкому напряжению), которые — по возможности — должны быть заменены подтвержденными фактическими показателями или обновленными прогнозными значениями будущих показателей. Информация о планировании по зарегистрированному проекту может содержать как стандартную информацию о планировании, так и подробную информацию о планировании.

Существует положение, согласно которому ОРС должен самостоятельно оценить показатели, не предоставленные пользователями РС по какой-либо причине. Однако ОРС обязан письменно уведомить пользователей о любой оценочной информации, которую он собирается использовать.

Отдельное требование Кодекса планирования распределения и подключения заключается в том, что регистрируемая информация должна обновляться пользователями РС ежегодно.

В целом можно отметить, что в экономически развитых странах мира распределительные энергокомпании имеют законодательно закрепленное право на получение от потребителей (в том числе и потенциальных!) предварительной информации о своих планах по росту (снижению) электропотребления. Благодаря этому у энергокомпаний появляется возможность концентрировать свое внимание не на верификации прогнозной информации, как таковой, а на оптимизации структуры своих активов с учетом изначальной достоверности прогнозной информации.

CIRED

В результате роста интереса к проблематике развития распределительных сетей 0,4—10 кВ в мае 1971 г. бельгийской ассоциацией AIM (*Association des Ingenieurs sortis de l'Institut*

d'Electricite Montefiore) была организована Первая конференция CIRED (*Congress International des Reseaux Electriques de Distribution*) (Международный конгресс по распределительным сетям). Огромное внимание специалистов разных стран к проблемам, поднимаемым на этих конференциях, привело к интернационализации деятельности CIRED и формированию постоянно действующей организации с аналогичным названием. В настоящее время конференции CIRED проводятся в разных европейских странах с периодичностью один раз в два года.

Деятельность CIRED имеет прежде всего практическую направленность и ориентируется на потребности квалифицированного технического персонала распределительных энергетических компаний, производителей силового электрооборудования и специалистов испытательных центров. В конференциях CIRED также принимают участие представители компаний, производящих оборудование для цифровых технологий и средства измерения; ведущие университеты и исследовательские центры.

Сферой интересов CIRED являются вопросы, связанные с распределением электроэнергии и электроснабжением потребителей, в том числе вопросы экономического характера (снижение издержек, организация и управление энергоснабжением, развитие рынка электроэнергии, планирование).

Выводы

1. Прогнозирование спроса на услуги распределительных электрических сетей должно базироваться на информации о конкретных планах развития потребителей энергоуслуг, предоставляемых данными потребителями или органами местной власти, отвечающими за планирование развития территорий субъектов РФ и муниципальных образований.

2. Обязанность потребителей предоставлять энергокомпаниям необходимую для планирования развития

электрических сетей информацию должна быть утверждена законодательно.

3. Энергокомпании обязаны гарантировать соблюдение условия конфиденциальности при работе с полученной от потребителей информацией.

4. Помимо планов потребителей, важным источником прогнозных данных для построения планов развития распределительных электрических сетей должны быть результаты экономико-статистического моделирования на основе данных о динамике нагрузок в принадлежащих энергокомпаниям сетях.

5. Энергокомпании должны публично информировать общество о состоянии их сетевой инфраструктуры и планах ее развития. Для обеспечения эффективного контроля за данной деятельностью и синхронизации усилий всех заинтересованных сторон по развитию региональной электросетевой инфраструктуры необходимо проводить публичные слушания на данную тему и (или) создавать в регионах постоянно действующие многосторонние совещательные органы по проблемам энергоснабжения.

6. Необходима разработка специализированной нормативно-законодательной базы, определяющей порядок эксплуатации и развития распределительных электрических сетей.

7. Энергокомпании при решении задачи построения планов развития принадлежащих им распределительных электрических сетей должны делать упор на обеспечение не только максимальной достоверности используемой ими прогнозной информации, но и на минимизацию рисков, возникающих у них в этих условиях.

8. Для детального ознакомления с современным зарубежным опытом решения проблем функционирования и развития распределительных электрических сетей отечественные энергокомпании должны принять активное участие в деятельности CIRED.

