Выбор генерирующего оборудования
для объектов распределенной генерации

И.Б. Артемьев, А.М. Синельников –
ОАО «Научно-технический центр Единой энергетической системы»

В статье приведены основные аспекты подхода к выбору генерирующего оборудования в составе энергоцентра на объектах распределенной генерации, а также к оценке экономической эффективности различных вариантов.

In brief
Перевод
Перевод

Причины создания собственных источников генерации

В последнее время в России все чаще реализуются инвестиционные проекты строительства распределенной генерации. Это обусловлено различными причинами, как объективными, так и субъективными. В общем виде их можно сформулировать следующим образом:

- сложности технологического присоединения новой нагрузки в связи с необходимостью дорогостоящих мероприятий по сетевому строительству / реконструкции и длительными сроками их выполнения. В этом случае создание собственного энергоисточника обеспечит новые нагрузки предприятия;
- высокая стоимость электроэнергии, покупаемой на розничном рынке для обеспечения существующей нагрузки предприятия, – собственный энергоисточник позволит снизить затраты на ее покупку;
- наличие на предприятии ответственных потребителей, отключение которых недопустимо. В этом случае объект распределенной генерации может использоваться в качестве основного источника питания таких потребителей;
- применение на предприятии технологических процессов, в результате которых образуются побочные продукты (пар, ПНГ и т.д.), и их можно утилизировать для собственного потребления и / или продажи;
- строительство собственных электростанций с целью извлечения прибыли от продажи электрической и тепловой энергии.

Режимы работы таких энергоисточников (параллельный, изолированный, смешанный) должны быть определены заранее. Очевидно, что состав оборудования создаваемой ЭСН должен обеспечивать достижение целей проекта, однако на практике это зачастую не так.

Неверные (завышенные) оценки доступности ресурсов, необходимых для работы станции, спроса на тепловую и электрическую энергию приводят к выбору состава генерирующего оборудования, не отвечающему целям создания такого энергоисточника. В итоге фактические издержки на его содержание могут оказаться гораздо выше ожидаемых, реальная себестоимость производимой электроэнергии сделает проект неэффективным, а продажу ее на розничном рынке невозможной. В связи с этим выбор оборудования целесообразно начинать с оценки территории размещения объекта генерации, доступных ресурсов, а также спроса на различные виды энергии для данной территории.

Оценка территории размещения объекта генерации

При оценке территории нужно учитывать не только возможность размещения станции и необходимой инфраструктуры (топливное хозяйство, склады ГСМ и т.д.), но и возможность расширения площадки при необходимости. Кроме того, важно заранее учесть наличие в непосредственной близости социально-бытовых, природных и других объектов, накладывающих экологические обременения для ввода станции. Также должна быть проведена оценка внешнего окружения территории, а именно:

- наличие потенциальных потребителей для оценки внешнего спроса на тепловую и электрическую энергию;
- наличие близко расположенных котельных, ТЭЦ, объектов распределенной генерации для оценки альтернативных вариантов собственного энергоснабжения;
- наличие и параметры сетей электро- тепло- и газоснабжения в непосредственной близости для последующей оценки объемов и стоимости мероприятий по технологическому присоединению;
- выяснить стоимость электроэнергии (мощности) на ОРЭМ в регионе, где будет установлен объект генерации, для определения предельной цены продажи электроэнергии гарантирующему поставщику.

Важно также учитывать планы развития территории, прирост нагрузки существующих и новых потребителей, строительство и реконструкцию инженерных коммуникаций. Источ-

никами данных при этом выступают схемы территориального планирования и развития, программы перспективного развития и т.д.

Оценка доступных ресурсов необходима для определения стоимости первичных источников энергии; а также внешних источников для альтернативных вариантов собственного энергоснабжения. В качестве источника, в первую очередь, рассматривается природный газ, однако в некоторых проектах целесообразно рассмотреть основные или побочные продукты производства (тепловая энергия, нефтепродукты, попутный и свалочный газ и т.д.). Причем необходимо уточнить объем и химический состав таких продуктов.

Оценка стоимости первичных источников энергии решается в каждом проекте индивидуально. Наиболее часто возникающий вопрос – часовой расхода газа – можно решить посредством перевода требуемых объемов энергии в энергию топлива с учетом потерь на преобразование, для чего требуется прогноз потребления (спроса).

Прогнозирование графиков нагрузок

В проектах распределенной генерации построение прогнозных графиков электрической нагрузки – отдельная задача, предшествующая непосредственному выбору состава оборудования. Важно отметить, что при проектировании внутренних электрических сетей потребителей построения прогнозных графиков не требуется.

Прогноз нагрузки предприятия должен производиться с дискретностью не менее одного часа, чтобы выполнить дальнейший расчет почасовой стоимости приобретаемой электроэнергии, оценку часовых расходов топлива и почасового объема электроэнергии, доступной для дальнейшей продажи. Отдельно должны быть учтены перспективы увеличения нагрузки.

Ключевыми точками прогнозного графика являются: максимальная/минимальная мощность, мощность в часы пиковой нагрузки гарантирующего поставщика, суточный объем потребления электроэнергии. Прогнозирование нагрузок целесообразно проводить для разных режимов работы предприятия (рабочий/ выходной день) в различный период года (зима/лето).

В некоторых случаях снизить стоимость приобретаемой энергии можно за счет изменения ценовой категории и/или смены поставщика электроэнергии. В таком случае можно обойтись и без строительства объекта собственной генерации.

Для электроснабжения сторонних потребителей также необходимо сделать прогнозный график, соотнести его с графиком нагрузки рассматриваемого предприятия. В некоторых проектах в качестве внешнего потребителя рассматривается гарантирующий поставщик. В таких случаях график собственного потребления позволяет определить объем энергии, доступной для продажи.

Помимо графиков электрической нагрузки, при выборе оборудования важно иметь представление о годовом графике тепловой нагрузки и нагрузке систем кондиционирования. Дискретность таких графиков должна составлять 24 часа. Ключевыми точками данного графика являются максимальные тепловые нагрузки отопительного/неотопительного периодов для рабочего и выходного дня.

Таким образом, на основании данных об оценке территории, доступности ресурсов и прогноза спроса на тепловую и электрическую энергию можно переходить к выбору технологий производства энергии и формированию концепции энергетического центра.

Формирование технических решений по созданию энергоцентра

Выбор технологии и разработка концепции

При разработке концепции должны рассматриваться не только нормальные (и ремонтные), но и аварийные режимы работы энергоцентра, а также вероятные наложения ремонтных и аварийных режимов.

В зависимости от условий проекта рассматриваются газопоршневые, газотурбинные, микротурбинные и другие технологии производства электроэнергии. Выбор установок определяется доступным на территории топливом, соотношением прогнозных электрических и тепловых нагрузок предприятия, его технологическими особенностями (например, потребностью в отборе пара) и другими условиями проекта.

Для производства тепловой энергии, в первую очередь, рассматриваются когенерационные технологии. Если пиковые тепловые нагрузки не покрываются когенерационными установками (КГУ), можно использовать дополнительные газовые или электрические котлы.

В качестве технологий холодоснабжения, как правило, применяются чиллеры и абсорбционные холодильные машины (АБХМ), принципиально отличающиеся видом используемой энергии. Различные сочетания технологий производства электрической, тепловой энергии и холодоснабжения по-разному влияют на перспективные нагрузки предприятия, так как сами являются потребителями энергии. Поэтому выбор вариантов концепции энергоцентра зачастую требует нескольких итераций, с последовательным приближением к наиболее эффективному.

Выбор количества агрегатов и их единичной мощности

Выбор максимальной электрической мощности определяется целью строительства объекта собственной генерации:

- *в качестве основного источника электроснабжения новой нагрузки* (а также при рассмотрении только изолированного режима работы) – максимальная мощность станции должна быть равна максимальной нагрузке с учетом собственных нужд энергоцентра;
- *с целью обеспечения питания ответственных потребителей* – максимальная мощность должна быть не менее суммарной расчетной мощности таких потребителей;
- *с целью снижения стоимости приобретаемой электроэнергии из сети, без выдачи мощности в сеть* – максимальная мощность должна обеспечить нагрузку не менее 4500–5000 часов в год. В этом случае мощность определяется по графику приведенных максимумов, построенному на основании прогнозных суточных графиков нагрузки с учетом собственных нужд энергоцентра;
- *с целью продажи электрической энергии* – мощность ограничивается пропускной способностью прилегающей сети и должна быть обоснована расчетом электрических режимов прилегающего энергорайона.

Выбор единичной электрической мощности и количества генерирующих агрегатов зависит от применяемой технологии.

Единичная мощность микротурбинных установок выбирается по шкале номинальных мощностей. Технологические ограничения по минимальной нагрузке у микротурбин отсутствуют, поэтому их количество определяется исходя из обеспечения максимальной мощности минимальным количеством агрегатов.

Диапазон номинальных мощностей газопоршневых установок отличается у различных производителей, что позволяет выбрать единичную мощность с шагом в несколько десятков киловатт. Технологической особенностью газопоршневых агрегатов является ограничение минимальной загрузки не менее 50 %, и это особенно важно учитывать при автономном режиме работы, поэтому единичная мощность агрегатов должна быть такой, чтобы при минимальных нагрузках обеспечивался технологический минимум.

Номинальные мощности газотурбинных установок выше остальных, шаг шкалы мощностей может составлять до нескольких мегаватт. Технологические ограничения по минимальной нагрузке для газотурбинных агрегатов отсутствуют, поэтому их количество определяется исходя из обеспечения максимальной мощности минимальным количеством агрегатов, однако при наличии непродолжительной, но большой пиковой нагрузки целесообразно применение нескольких ГТУ.

Обеспечение резервирования

Чтобы обеспечить возможность ремонта оборудования без отключения нагрузки или ухудшения электроснабжения в автономном режиме работы, а также питание ответственных потребителей, нужно предусмотреть дополнительное количество агрегатов, обеспечивающих резерв. Для таких проектов целесообразно наличие «нагруженного» резерва. Величина «нагруженного» резерва определяется коэффициентом загрузки Кзг:

$$\text{Количество агрегатов} = \frac{\text{максимальная нагрузка}}{\text{един. мощность агрегата} \times K_{зг}}$$

Часто коэффициент загрузки выбирается исходя из следующего: в работе одновременно должно находиться столько агрегатов и их загрузка должна быть такова, чтобы при выходе одного агрегата оставшиеся могли полностью обеспечить нагрузку. Чем выше коэффициент загрузки, тем более эффективно будет использоваться установленная электрическая мощность энергоцентра, однако тем менее надежным будет энергоснабжение. При этом экономическая целесообразность содержания «нагруженного» резерва должна быть сопоставлена с ущербом от отключения части нагрузки предприятия в рамках ТЭО.

При автономном энергоснабжении особо ответственных потребителей следует учесть, что возможно применение резервных (дизельных) источников электроснабжения.

Выбор модели и производителя оборудования

Под сформированный состав энергоцентра должен быть выбран конкретный производитель и модель оборудования. С точки зрения эксплуатации, наиболее предпочтительно использовать в составе энергоцентра агрегаты одного производителя и одной марки. Это сократит эксплуатационные издержки на техническое обслуживание и ремонт.

Выбор производится исходя из анализа предложений зарубежных и отечественных поставщиков генерирующих агрегатов. В результате должны быть сформированы варианты компоновки энергоцентра конкретными моделями оборудования, режимы его работы. При этом все варианты снова должны быть проверены на возможность энергоснабжения в каждой точке графика (т.е. во всех нормальных режимах) и в заданных требованиями по резервированию сочетаниях ремонтных и аварийных режимов.

Экономическое сравнение вариантов

При выборе производителя и модели оборудования для каждого варианта энергоцентра должна быть создана схема денежных потоков, в которую подставляются стоимостные показатели каждой применимой модели оборудования – как капитальные затраты, так и эксплуатационные. Более эффективным признается вариант, в котором сумма дисконтированных капитальных и эксплуатационных затрат меньше. Таким образом, не всегда выбор производителя/модели с самыми низкими капитальными затратами окажется наиболее экономически эффективным для проекта в целом.

Выбирая состав КГУ по экономическим показателям, обычно сравнивают два варианта: а) большее количество агрегатов меньшей единичной мощности; б) меньшее количество агрегатов большей мощности. Так, для второго варианта отрицательный экономический эффект в процессе эксплуатации энергоцентра от вынужденной покупки большего объема более дорогой электроэнергии из внешней сети при отключении одного из агрегатов сравнивается с положительным эффектом в начале проекта от использования крупных агрегатов, имеющих меньшую удельную стоимость, и наоборот.

Итоговое экономическое сравнение сформированных вариантов технического решения должно выполняться методом дисконтированных денежных потоков. Он предполагает построение финансово-экономической модели для каждого варианта, где «собираются» прогнозные капитальные и эксплуатационные затраты и возможные доходы. Результатом такой модели является дисконтированный денежный поток, позволяющий рассчитать чистую приведенную стоимость (NPV). Варианты состава оборудования ранжируются на основании рассчитанных NPV от большего к меньшему, определяя, таким образом, приоритетность их дальнейшего рассмотрения.

Результатом является определение основных инвестиционных показателей проекта создания энергоцентра – внутренней ставки доходности (IRR), дисконтированного срока окупаемости (DPB), которые сопоставляются с инвестиционными требованиями реализующего проект предприятия/инвестора.

Для энергоцентра рассчитывается себестоимость отпуска каждого вида энергии. Соотнесение себестоимости с тарифами/ценами внешних поставщиков позволяет дополнительно оценить экономическую эффективность проекта. Завершающей частью экономической оценки является анализ чувствительности, определяющий влияние различных факторов на инвестиционную привлекательность проекта.

Разработка схемы выдачи мощности

Для наиболее экономически эффективного варианта разрабатывается схема выдачи мощности (СВМ), в ходе которой уточняются основные технические решения. Этот комплекс работ представляет собой анализ режимов эксплуатации оборудования энергоцентра в составе энергосистемы (и изолированно при необходимости) и их влияние на внешнюю сеть, допустимость этих режимов; анализ режимов и аварийных событий во внешней сети и их влияние на оборудование энергоцентра, допустимость этих режимов.

Вполне возможно, что при разработке СВМ вариант состава оборудования будет признан нереализуемым, что потребует рассмотрения следующего по рангу (NPV) варианта.

Заключение

Выбор состава генерирующего оборудования включает в себя ряд ключевых аспектов для достижения цели создания объекта распределенной генерации. Выбор целесообразно начинать с оценки территории размещения автономного энергоисточника, анализа потребности в различных видах энергии и прогнозирования графиков нагрузок. После чего нужно выбрать технологию производства энергии и разработать концепцию объекта генерации, обеспечивающую оптимальное распределение балансов и энергетических потоков энергоцентра. В рамках выбранной концепции определить единичную мощность и количество агрегатов с учетом требуемого резервирования. Переходить к выбору производителей и моделей оборудования целесообразно только после рассмотрения всех перечисленных аспектов.

Стоит отметить, что для достижения цели проекта может существовать несколько вариантов состава оборудования. Технические решения выбранного по экономическим параметрам варианта должны быть дополнены и уточнены в рамках схемы выдачи мощности. Результаты СВМ, как комплексного анализа режимов работы энергоцентра в составе энергосистемы (и изолированно при необходимости), могут показать невозможность реализации проекта на основе выбранного состава оборудования и необходимость выбора другого варианта.

Таким образом, выбор состава генерирующего оборудования и разработка схемы выдачи мощности энергоцентра являются неотделимыми процессами и должны выполняться в рамках единой комплексной работы по определению основных технических и инвестиционных решений проектов распределенной генерации.