

ВЫБОР СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА — ДЕЛО СЕРЬЕЗНОЕ

Как выбрать лучший трансформатор требуемого конструктивного исполнения? Наиболее простой, очевидный, логичный критерий — это цена. Все проводимые тендеры и открытые конкурсы по выбору поставщика трансформаторов выигрывает тот, кто предложит минимальную цену продукции. Однако насколько это правильно с точки зрения объективного выбора наиболее качественного оборудования?

Предлагается использовать три методологических подхода к объективному выбору наилучшего в каждом конкретном случае поставщика силовых распределительных трансформаторов.

Первый методологический подход

Основан на теории техноценозов научной школы профессора Б.И.Кудрина.

Мы выделяем макроэкономическую систему, включающая предприятия России, которая образует инфраструктуру мегаценоза «Электроэнергетическая система страны». Эта инфраструктура представляет собой единое целое, характерное для ограниченного пространства (в данном случае — территория РФ), в котором сложились определенные условия, меняющиеся под действием внешних и внутренних факторов. Формирование видового распределения мегаценоза позволило выделить виды предприятий, которые параллельно являются факторами, требующими обязательного учета и анализа при выборе наилучшего поставщика трансформаторного оборудования.

- «поставщики электроэнергии»;
- «производители силовых трансформаторов»;
- «проектные организации систем электроснабжения»;
- «дилеры заводов производителей»;
- «электромонтажные организации»;
- «организации, эксплуатирующие силовые трансформаторы»;

Подробно рассмотрим каждый из этих факторов.

Фактор «Поставщики электроэнергии»

При выборе трансформатора необходимо обязательно учитывать качество поставляемой электроэнергии по всем параметрам, а не только по напряжению и частоте. Так, например, превышение допускаемого параметра по третьей гармонике может вызвать значительные перегревы металлоконструкций, т.к. она не замыкается по магнитной системе.

Фактор «Производители силовых трансформаторов»

На заводе-производителе должно быть обеспечено выполнение двух неперенных условий:

Корпорация «Русский Трансформатор» * Поставка силовых трансформаторов * <http://www.rus-trans.com>

- высокое качество проектирования конструкции трансформаторов, предполагающее: использование проверенных расчетных методик и всех известных конструктивных решений (выбор стыка магнитной системы, выбор главной и продольной изоляции, выбор системы охлаждения от различных радиаторов до гофры); исключение из процесса проектирования подхода «если нельзя, но очень хочется, то можно».
- высокий технологический уровень производства.

Выбор завода-производителя представляет собой зачастую наиболее сложную задачу для снабженцев. Как же определить, кто изготовит действительно качественное, надежное, подлинно энергоэффективное оборудование?

Предлагаем несколько простых, но эффективных рекомендаций — «лакмусовую бумажку», содержащую перечень основных и надежных критериев/параметров для выбора завода-производителя.

- узнайте ассортимент выпускаемых заводом трансформаторов; чем он шире — тем мощнее, совершеннее и стабильнее технологические процессы;
- выясните срок работы завода; чем он больше — тем стабильнее технологические процессы, выше технологическая дисциплина, надежнее преемственность рабочих;
- сопоставьте цены заводов; если цена продукции какого-либо ниже среднерыночных цен на 15-30%, то скорее всего вам предлагают «обновленное», бывшее в употреблении оборудование;
- критически проанализируйте информацию с сайтов заводов — чем больше там технической информации, информации о технологиях и меньше самовосхваления, — тем качественнее продукция;
- обратите внимание на референс-лист, свяжитесь с кем-либо из указанных там покупателей;
- если возможно — наведите справки о собственнике завода; зачастую эта информация скажет многое и о предприятии;
- найдите информацию о дилерской сети завода-производителя; если это известные фирмы, профессиональные участники рынка силовых трансформаторов — больше шансов приобрести качественное оборудование.

Фактор «Проектные организации систем электроснабжения»

Российская экономика диктует правила игры, не всегда выгодные потребителю. Поэтому в проекты подстанций попадает оборудование не то, которое оптимально с точки зрения условий эксплуатации, а то, которое пролоббировано. Заказчику же впоследствии либо нужно пересогласовывать проект, либо принимать его таким как есть.

Между тем разные условия эксплуатации требуют различных конструктивных решений силового трансформатора. К сожалению, эти моменты чаще всего не принимаются во внимание, поэтому при монтаже или дальнейшей эксплуатации трансформатор может получить повреждения, выводящие его из строя.

Случай из практики. Был сделан заказ на трансформатор ТМГ (трансформатор масляный герметичный) в гофробаке. Выбор мотивирован минимальными эксплуатационными расходами этого типа трансформаторов. В наличии были трансформаторы типа ТМ (трансформатор масляный), но заказчик от них отказался. Между тем условия эксплуатации трансформатора предполагали механические воздействия (случайные удары), то есть выбор гофробака вряд ли был оправдан. К тому же в штатном расписании Заказчика была предусмотрена служба эксплуатации подстанций, т.е. эксплуатационные расходы приобретение такого «экономичного» оборудования не уменьшали.

Вообще, выбор между трансформаторами типов ТМ и ТМГ (герметичных) в обычном и гофробаке требует тщательного анализа будущих условий эксплуатации трансформатора.

Чем отличаются трансформаторы с обычным баком от трансформаторов в гофробаке? Гофробак — это следующий этап эволюции герметичного трансформатора с обычным баком. Появление технологической возможности и экономической целесообразности изготовления гофрированной тонкостенной (~1 мм толщиной) конструкции, которая упругими деформациями компенсировала бы тепловое расширение трансформаторного масла, позволило сократить габариты трансформатора. Громоздкие радиаторы охлаждения уступили место компактной «дышащей» «гармошке». Но в технике редко бывают однозначно выигрышные решения. При переходе к гофрированной тонкостенной конструкции ее механическая прочность и устойчивость, конечно же, уменьшились. Необходимо помнить также, что коррозия тонкостенных металлических конструкций происходит значительно быстрее, чем толстостенных.

Следовательно, сначала необходимо точно установить, какой тип трансформатора требуется: ТМ или ТМГ, и если требуется именно ТМГ, то каковы требования стойкости к механическим воздействиям.

Баки трансформаторов типа ТМ в плане имеют прямоугольную форму с радиаторами для охлаждения трансформаторного масла, расположенными по периметру бака. Стенки баков таких трансформаторов изготовлены из стального листа толщиной от 2,5 до 4 мм с ребрами жесткости. Тем самым обеспечивается высокая устойчивость оболочек изделий к деформациям при транспортировке и надежная работа трансформаторов без остаточных деформаций при возникновении внутри бака кратковременных избыточных давлений до 150 кПа (1,5 кгс/см²) и до 300 кПа (3 кгс/см²) без разрушения конструкции.

В трансформаторах типа ТМ изменение давления внутри бака компенсируется за счет сообщения с окружающей средой через расширитель; они требуют дополнительного проведения испытаний трансформаторного масла в процессе хранения, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, текущих и капитальных ремонтов. Кроме того, трансформаторы ТМ требуют проведения систематических осмотров для определения степени увлажнения сорбента воздухоосушителя. Суммарные расходы на выполнение всех вышеизложенных работ в течение срока эксплуатации трансформаторов типа ТМ достигают 40–63 % от полной стоимости трансформатора (в зависимости от его мощности).

Трансформаторы силовые масляные герметичные (также типа ТМГ) в обычном баке изготавливаются в герметичном исполнении, их внутренний объем не связан с внешней средой и изменение давления внутри бака компенсируется благодаря азотной «подушке», предусмотренной в верхней части бака трансформатора. Изоляция внутреннего объема бака от окружающей среды имеет свои преимущества:

- улучшает условия работы масла;

- исключает его увлажнение, окисление и шламообразование.

Для контроля уровня масла трансформаторы ТМГ оснащаются маслоуказателем, расположенным на стенке бака.

Поэтому при выборе трансформатора данного типа необходимо иметь в виду, что использование ТМГ в гофробаке целесообразно там, где предъявляются жесткие требования к массогабаритным параметрам, но маловероятна возможность случайных механических воздействий. Так, к примеру, в условиях нефтеразработок или карьеров целесообразно применять трансформаторы ТМГ в обычных баках.

Таким образом в каждом конкретном случае необходимо учитывать реальные условия эксплуатации оборудования. Это обеспечит более полное отражение сравниваемых технико-экономических показателей и оптимальный выбор трансформатора.

Фактор «Дилеры заводов производителей»

Приобретение качественного и оптимального по техническим характеристикам электрооборудования (в том числе и силовых трансформаторов) упрощается, если заказать его у авторизованного сертифицированного поставщика. Выбирая поставщика, клиент в конечном счете выбирает и качество, и надежность, и, безусловно, экономию как текущих, так и будущих расходов.

Фактор «Электромонтажные организации»

Выбирая организацию для монтажа приобретенного трансформатора обратите внимание на наличие соответствующей лицензии и на референц-лист произведенных работ.

Фактор «Организации, эксплуатирующие силовые трансформаторы»

Профессионализм эксплуатирующей организации/подразделения влияет как на корректность техзадания, выдаваемого проектной организацией, так и на продолжительность срока службы приобретенного трансформатора. К примеру, когда заказчик/эксплуатирующая организация предъявляет требование по сечению нулевого отвода (сечение фазных и нуля одинаковые), то можно предположить, что угроза безопасности эксплуатации будет связано именно с самими «эксплуатационниками», т.к. ГОСТ на трансформаторы оговаривает: нулевой проводник должен рассчитываться на токи 25% от номинального для У/Ун-0 и 75% для Д/Ун-11.

Таким образом, первый предлагаемый алгоритм выбора — это скрупулезный анализ факторов, перечисленных выше. Выполняться такой выбор должен самим снабженцем.

Второй методологический подход.

Основан на экономическом анализе альтернативных вариантов производителя/поставщика. Сравнение осуществляется после оценки полной стоимости трансформатора.

Полная стоимость трансформатора состоит из его цены, стоимости транспортирования к месту установки, монтажа, обслуживания на весь срок эксплуатации и потерь.

Потери в трансформаторе состоят из:

- потерь холостого хода, возникающих вследствие перемангничивания активной стали сердечника;
- нагрузочных потерь, представляющих собой потери в меди обмоток;
- добавочных потерь в стенках бака и других металлических частях (из-за потока рассеивания).

Следуя приведенному ниже алгоритму экономического обоснования выбора трансформатора, разработанному сотрудниками компании «Энергокапитал» (г. Новосибирск), можно получить стоимостные данные, которые позволят выбрать наилучший трансформатор с точки зрения настоящих и будущих затрат.

1. Общие положения

Приведенная полная стоимость силовых трансформаторов состоит из следующих составляющих:

- цены приобретения силового трансформатора (условно: капиталобразующие инвестиции потребителя);
- предстоящих эксплуатационных расходов в расчетный период эксплуатации силового трансформатора.

К предстоящим эксплуатационным расходам, которые потребитель в состоянии приблизительно оценить, относятся:

- стоимость монтажа на месте эксплуатации;
- расходы на проведение профилактических, текущих и капитальных ремонтов,
- ликвидационные расходы (при необходимости);
- стоимость потерь электроэнергии в процессе эксплуатации силового трансформатора (критерий энергоэффективности).

Оценка эксплуатационных расходов осуществляется в пределах расчетного периода, продолжительность которого может быть месяц, квартал, год и т.д.

Целесообразно расчетный период принимать равным сроку службы/ эксплуатации силового трансформатора.

С точки зрения потребителя приобретение силовых трансформаторов представляет собой долгосрочное вложение ресурсов. Для оценки эффективности этого мероприятия все требуемые вложения и отдачу оценивают с учетом временной ценности денег, т.е. используется принцип дисконтирования реальных денежных потоков.

2. Оценка стоимости потерь электроэнергии в процессе эксплуатации силовых трансформаторов

Основными электрическими параметрами силового трансформатора, характеризующими экономичность его работы являются потери холостого хода (ПХХ) и короткого замыкания (ПКЗ).

ПХХ возникают вследствие перемагничивания активной стали сердечника. Они являются постоянной составляющей полных потерь мощности и зависят не от нагрузки трансформатора, а от качества трансформаторной стали (марки, толщины), технологии изготовления магнитной системы, качества проектирования магнитопровода и материальной базы.

Потери короткого замыкания представляют собой сумму потерь в проводе обмоток и дополнительных потерь в стенках бака и других металлических частях, вызываемых потоками рассеивания. ПКЗ — это переменная составляющая полных потерь мощности, т.к. они изменяются в зависимости от нагрузки трансформатора.

Данный тип потерь зависит от материала обмоток, плотности тока, количества витков, инженерных приемов.

Номинальные ПХХ и ПКЗ силового трансформатора устанавливаются на стадии конструкторской разработки с учетом технологических возможностей предприятия-производителя и указываются в технических условиях (на серийную продукцию) или технических характеристиках, которые согласовываются с Заказчиком (на нетиповую продукцию).

Измеренные ПХХ и ПКЗ могут отличаться от номинальных в пределах установленных в технических условиях допусков (как правило, допуск на потери холостого хода составляет +15%, допуск на потери короткого замыкания — + 10%) и указываются в Паспорте на каждый трансформатор.

Расчет стоимости потерь электроэнергии в процессе эксплуатации силового трансформатора производится по формуле:

$$Э_i = T_i \cdot (P_{x.x.} \cdot ЦР_{x.x.} + \beta^2 \cdot P_{к.з.} \cdot ЦР_{к.з.}), \quad (1)$$

где

$Э_i$ — стоимость потерь электрической энергии в i -ый период эксплуатации силового трансформатора, руб.,

T_i — расчетный срок эксплуатации трансформатора в i -ый период, часов,

$P_{x.x.}$ — потери холостого хода, кВт,

$P_{к.з.}$ — потери короткого замыкания, кВт,

β — коэффициент загрузки трансформатора, равен отношению тока, протекающего через трансформатор к его номинальному току,

$ЦР_{x.x.}$ — тариф на электроэнергию, руб/кВт*час.

3. Оценка прочих расходов, возникающих в процессе эксплуатации силового трансформатора

В момент ввода силового трансформатора в работу потребитель несет эксплуатационные расходы, связанные с монтажом данного оборудования на объекте и проведением испытаний, предусмотренных ПУЭ. Суммарные расходы на выполнение этих работ для трансформаторов типа ТМГ, ТМПНГ приблизительно одинаковы. Расходы на проведение профилактических, текущих и капитальных ремонтов для трансформаторов типа ТМГ и ТМПНГ сопоставимы.

Таким образом, основное влияние на расходы, возникающие в процессе эксплуатации силового трансформатора, оказывают его технические характеристики (в частности, потери холостого хода и короткого замыкания).

4. Сравнение приведенной полной стоимости силовых трансформаторов. Выбор оптимального варианта

Расчет полной стоимости силового трансформатора производится по формуле:

$$C_{\text{полн.}} = C_{\text{приобр.}} + \sum_{i=0}^T \Delta_i, \quad (2)$$

где

$C_{\text{полн.}}$ — полная стоимость силового трансформатора, руб.,

$C_{\text{приобр.}}$ — цена приобретения силового трансформатора, руб.

Поскольку приобретение силового трансформатора — это долгосрочное вложение экономических ресурсов для получения выгоды, для оценки его стоимости, приведенной к настоящему моменту закупки, используется принцип дисконтирования реальных денежных потоков, т.е. применяется коэффициент дисконтирования. Он определяется из Таблицы коэффициентов дисконтирования (J_T), разработанной Economic Development Institute of World Bank, либо рассчитывается по формуле:

$$J_T = 1/(1+E)^T, \quad (3)$$

где

J_T — коэффициент дисконтирования,

i — период эксплуатации ($i=0, 1 \dots T$),

E — норма дисконта, %.

Приведенная полная стоимость силового трансформатора рассчитывается по формулам:

$$C_{\text{привед.}} = C_{\text{приобр.}} + \sum_{i=0}^T \Delta_i \cdot 1/(1+E)^i,$$

либо

$$C_{\text{привед.}} = C_{\text{приобр.}} + \sum_{i=0}^T \Delta_i \cdot J_T, \quad (4)$$

где $C_{\text{привед.}}$ — приведенная полная стоимость силового трансформатора, руб.

На основании произведенных расчетов потребитель выбирает трансформатор.

5. Демонстрационный пример

Перед покупателем стоит задача выбрать оптимальный (по техническим и экономическим характеристикам) силовой трансформатор из ряда альтернативных вариантов: либо ТМГ-630 с обычным уровнем потерь, либо ТМГ-630 с уменьшенными потерями.

Для этого потребитель в соответствии с вышеизложенной Методикой рассчитывает:

а) упрощенный вариант — полная стоимость альтернативных вариантов.

Полная стоимость ТМГ-630 с обычным уровнем потерь:

$$C_{\text{полн.}} = 236\,383 + 25 \cdot 129\,019 = 3\,461\,858 \text{ (рублей)},$$

где

236 383 — отпускная цена на ТМГ-630 на момент заключения договора поставки, руб.,

25 — срок эксплуатации ТМГ-630, лет,

129 019 — стоимость потерь электроэнергии за 1 год эксплуатации ТМГ-630 с обычными потерями, руб.

Полная стоимость ТМГ-630 С УМЕНЬШЕННЫМ УРОВНЕМ ПОТЕРЬ:

$$C_{\text{полн.}} = 260\,194 + 25 \cdot 112\,503 = 3\,072\,769 \text{ (рублей)},$$

где

260 194 — отпускная цена на ТМГ-630 с уменьшенными потерями на момент заключения договора поставки, руб.,

25 — срок эксплуатации ТМГ-630, лет,

112 503 — стоимость потерь электроэнергии за 1 год эксплуатации ТМГ-630 с уменьшенным уровнем потерь, руб.

б) актуальный вариант — приведенная полная стоимость альтернативных вариантов.

Приведенная полная стоимость ТМГ-630 с обычным уровнем потерь:

$$C_{\text{привед.}} = 236\,383 + 1\,171\,232 = 1\,407\,615 \text{ (рублей)},$$

где

236 383 — отпускная цена на ТМГ-630 на момент заключения договора поставки, руб.,

1 171 232 — стоимость потерь электроэнергии за 25 лет эксплуатации ТМГ-630 с обычным уровнем потерь с учетом коэффициента дисконтирования, руб.

Приведенная полная стоимость ТМГ-630 с уменьшенным уровнем потерь:

$$C_{\text{привед.}} = 260\,194 + 1\,021\,301 = 1\,281\,495 \text{ (рублей)},$$

где

260 194 — отпускная цена на ТМГ-630 с уменьшенными потерями на момент заключения договора поставки, руб.,

1 021 301 — стоимость потерь электроэнергии за 25 лет эксплуатации ТМГ-630 с уменьшенным уровнем потерь с учетом коэффициента дисконтирования, руб.

Прокомментируем представленный выше алгоритм.

Ключевым моментом здесь является график нагрузки. Получить эту информацию для специалиста (главного энергетика, главного инженера) не составляет труда получить. Проблемы могут возникнуть для менеджеров фирмы-посредника, т.к. зачастую сотрудники таких компаний слабо ориентируются в технических вопросах электроснабжения.

Все остальные данные (в частности, технические данные трансформатора) можно получить у официальных представителей заводов-изготовителей.

Норму дисконта поможет выбрать экономист.

По результатам различных вариантов расчетов решение о закупке можно принять без затруднений.

Третий методологический подход

Основан на методе анализа иерархий, применяемом в тех случаях, когда перед экспертом стоит проблема выбора из ряда вариантов. Варианты характеризуются некоторыми весами, зная которые не составляет труда выбрать лучшую альтернативу. Проблема состоит в том, что веса заранее неизвестны. Их можно получить применением метода анализа иерархии (МАИ).

Этапы МАИ:

- выделение проблемы; определение глобальной цели;
- построение иерархии: от вершины (цели) через промежуточные уровни (критерии) к нижнему уровню альтернатив;

- построение множества матриц парных сравнений; это необходимо сделать для глобальной цели и для каждого из элементов промежуточных уровней;
- расчет собственных векторов и дополнительных величин по каждой из матриц парных сравнений;
- иерархический синтез оценок для получения искомых весов.

Первый этап применения МАИ — структурирование проблемы выбора в виде иерархии или сети. В элементарном виде иерархия строится с вершины (цели), через промежуточные уровни-критерии (технико-экономические параметры) к самому нижнему уровню, который в общем случае является набором альтернатив.

После иерархического воспроизведения проблемы устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив. Система парных сравнений приводит к результату, который может быть представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы $a(i,j)$ является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, предложенной автором метода, П. Саати.

В настоящее время завершается отладка программного обеспечения, реализующего описанный выше подход. Подробное описание алгоритма и программной оболочки будет представлено в отдельной статье.

Юрий САВИНЦЕВ,

генеральный директор ЗАО «Корпорация «Русский трансформатор» (Москва), кандидат технических наук

Ринат КАРАМУТДИНОВ,

начальник управления технического развития ОАО «МРСК Сибири» (Красноярск)