

Выбор поставщика на основе анализа характеристик трансформатора

Юрий САВИНЦЕВ, к.т.н.,
Независимый эксперт
direktor@rus-trans.com

Ключевые слова: методология выбора поставщика, энергоэффективные трансформаторы, распределительные трансформаторы, потери холостого хода и короткого замыкания, упрощенная модель анализа изменения цены.

Аннотация

Статья посвящена проблеме выбора поставщика энергоэффективных масляных распределительных трансформаторов при проведении закупок трансформаторного оборудования. Предложена новая методология выбора, включающая в себя: 1) предварительный подбор оптимальных потерь холостого хода и короткого замыкания, как базовых показателей энергоэффективности распределительного трансформатора в зависимости от режимов работы; 2) сравнительный комплексный технико-экономический анализ оборудования разных поставщиков на базе упрощенной модели анализа изменения цены трансформатора при изменении потерь холостого хода и короткого замыкания.

ВВЕДЕНИЕ

При выборе поставщика энергоэффективного распределительного трансформатора, в отличие от обычного трансформатора, можно столкнуться с ситуацией, когда предлагаемый продукт вовсе не является энергоэффективным, хотя его цена и будет выше цены обычного трансформатора. Встает вечный вопрос: Что делать? Как защитить свои финансы и получить качественный энергоэффективный продукт? Все вопросы может решить комплексный подход, когда приняты во внимание следующие важные стороны электrorаспределительного комплекса:

Электrorаспределительная сеть, состоящая фрагментарно из сетей различного класса напряжений, является для электрического тока тем не менее физически единым механизмом транспортировки электроэнергии. И этот общегосударственный механизм должен быть надежным, энергоэффективным и эффективным в экономическом плане.

Распределительный масляный трансформатор сегодня – это не только высокотехнологичный продукт, но прежде всего – важнейший элемент в цепочке энергоэффективной транспортировки электроэнергии от предприятия генерации к потребителю. Причем важнейший как в плане обеспечения надежности всей системы электроснабжения, так и в плане снижения потерь электроэнергии при ее транспортировке. Характеристики

трансформатора должны с одной стороны соответствовать требованиям по обеспечению транспортировки заданного объема электроэнергии, с другой стороны, требованиям по обеспечению энергоэффективности всей сети электроснабжения.

Общее количество трансформаторов I – III габарита, эксплуатируемых в Республике Казахстан (по оценке в соответствии с ценологической моделью автора [1]), составляет примерно 336,4 тысяч штук. При росте электропотребления на уровне примерно 3 миллиардов кВт·час за год потребность в распределительных трансформаторах для вновь вводимых подстанций составит примерно 10 000 штук (без учета трансформаторов, требующихся на замену).

Общемировой тенденцией сегодня является применение энергосберегающих технологий, в том числе использование энергоэффективных распределительных трансформаторов при транспортировке электроэнергии от генерирующих предприятий к потребителю. Большинство производителей распределительных трансформаторов уже начали выпускать энергоэффективные распределительные трансформаторы.

Рынок производителей масляных трансформаторов на сегодняшний день является крайне конкурентным.

В Республике Казахстан и на территории Таможенного Союза работают следующие крупные, средние и мелкие предприятия по производству распе-

делительных и силовых трансформаторов:

- 1) ООО «Силовые машины – Тошиба. Высоковольтные трансформаторы», («СМТТ») г. Санкт-Петербург;
- 2) ООО «Сименс Трансформаторы», г. Воронеж;
- 3) АО «ХК «Электрозавод», г. Москва;
- 4) ОП «Уфимский трансформаторный завод», г. Уфа
- 5) ООО «Тольяттинский трансформатор», г. Тольятти, Самарская обл.;
- 6) ООО «Трансформер», г. Подольск, Московская обл.;
- 7) ОАО «Электроцит», г. Чехов, Московская обл.;
- 8) АО «Группа «СВЭЛ», г. Екатеринбург;
- 9) АО «Уралэлектротяжмаш-Гидромаш», г. Екатеринбург;
- 10) АО «Алттранс», г. Барнаул;
- 11) ООО «Электрофизика», г. Санкт-Петербург;
- 12) МЭТЗ им. В.И. Козлова, г. Минск, Республика Беларусь;
- 13) «Кентауский трансформаторный завод», г. Кентау, Республика Казахстан;
- 14) «Уральский трансформаторный завод», г. Уральск, Республика Казахстан;
- 15) АО «Люберецкий завод «Монтажавтоматика», г. Люберцы, Московская обл.;
- 16) ООО «Трансформатор Реж», г. Реж, Свердловской обл.;
- 17) АО «ЧОЭЗ «Энергозапчасть», г. Чебоксары, Чувашская Республика;
- 18) ООО «Чеховский трансформаторный завод», г. Чехов, Московская обл.;

19) ООО «Завод Силовые Трансформаторы», г. Курган;

20) ООО «ПК «Славэнерго», г. Ярославль;

21) ООО «Проектэлектротехника», г. Шумерля, Чувашская Республика;

22) ООО «Комплектпромматериалы», («КПМ») г. Санкт-Петербург;

23) ООО «Барнаульский трансформаторный завод» («БТЗ»), г. Барнаул;

24) ООО «Электромашиностроительный завод» («ЭМЗ»), г. Москва, г. Екатеринбург;

25) ЗАО «ГК «Электроцит» – ТМ Самара», г. Самара.

Подробная характеристика каждого завода дана в книгах [1,2].

Также на территории Республики Казахстан и России работает не подпадающее точной оценке большое количество ремонтных предприятий, которые не только ремонтируют (что само по себе часто является единственным выходом для потребителя трансформаторов), но часто выдают отремонтированные трансформаторы за новые, подделывая документы крупных заводов. А это наносит колоссальный вред не только доброму имени добросовестных производителей, но и сильно снижает надежность электроснабжения, одновременно очень сильно увеличивая потери при трансформации электроэнергии.

Поэтому сегодня перед покупателем распределительных трансформаторов всегда стоят две очень сложные задачи:

- Определить, какой именно трансформатор (в части номинальной мощности и потерь холостого хода и короткого замыкания) необходимо приобрести;

- У какого именно производителя произвести закупку трансформаторов.

До сих пор, как бы серьезно в организационном плане не обставлялся процесс закупки распределительных трансформаторов (да и любых трансформаторов), главным критерием выбора поставщика (производителя) является минимальная цена закупки. Главенствующей стратегией конкурентной борьбы является демпинг. Это приводит повсеместно к закупке некачественного трансформаторного оборудования и снижению в целом надежности электроснабжения. Эксплуатирующие компании несут и прямые финансовые потери, так как вынуждены повторно закупать то же самое оборудование, но уже по более высоким

ценам, так как закупленное по низким ценам выходит из строя.

Такая ситуация однозначно связана с отсутствием надежного методологического «фильтра», препятствующего проникновению к покупателю и, в конечном счете, в частные и государственные электрические сети низкокачественной трансформаторной продукции.

Во-первых: отсутствует общегосударственная методология выбора поставщика, которая бы поставила на каждом этапе отбора «барьер» для оборудования с несоответствующими современным требованиям параметрами, причем не только при закупках сетевыми и другими крупными компаниями

Во-вторых, такая методология должна быть обязательна к применению для любого покупателя: частного или государственного. Методология должна быть законодательно утверждена соответствующим государственным органом.

В-третьих: для всех покупателей трансформаторного оборудования помимо новой общегосударственной методологии выбора поставщика, должен стать обязательным независимый контроль параметров трансформаторов при вводе в эксплуатацию, также как является обязательным заводской контроль.

В настоящей статье изложена новая методология выбора конкретного поставщика, включающая в себя определение оптимальных параметров энергоэффективного распределительного масляного трансформатора. Параметры должны быть оптимальными как с точки зрения сети в целом, так и с точки зрения экономической эффективности трансформации электроэнергии.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Конкретные требования к характеристикам энергоэффективности трансформаторов можно найти сегодня в двух российских нормативных документах, которые, по-видимому, допустимы и для покупателей в Казахстане: 1) Постановление Правительства РФ от 17 июня 2015 г. N 600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности»; 2) отраслевой Стандарт ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-011-2017 Трансформаторы силовые распределительные 6-10 кВ мощностью 63-2500 кВА. Требования к

уровню потерь холостого хода и короткого замыкания.

Для многих потребителей закупка распределительных трансформаторов происходит после разработки проекта электроснабжения и после подписания договоров технологического присоединения к электросетям. В небольших организациях и предприятиях все функции по выбору и приобретения трансформаторов возложены на нескольких человек или вообще на одного человека. Для оптовых покупателей (электросети, предприятия нефтегазовой промышленности, транспорта и др.), в которых существуют специализированные подразделения по проектированию электроснабжения, по материально-техническому снабжению, вопросы выбора и приобретения трансформатора решаются в ходе более сложной процедуры.

Но во всех случаях решаются два принципиальных вопроса:

- Какой должна быть номинальная мощность приобретаемых трансформаторов?

- Какими должны быть потери холостого хода и короткого замыкания у приобретаемых трансформаторов для обеспечения энергосберегающих мероприятий?

В работах [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] всесторонне рассмотрены проблемы проектирования трансформаторов с оптимальными характеристиками в целом, а также проблемы выбора характеристик энергоэффективных трансформаторов в различных условиях эксплуатации.

Однако целостной методологии выбора конкретных трансформаторов в конкретных условиях эксплуатации на сегодняшний день не существует. Все организации действуют либо по интуиции вообще, опираясь на опыт компетентных сотрудников-снабженцев, либо проводят процедуры закупки по внутренним корпоративным протоколам, которые не учитывают необходимость решения вопросов обеспечения энергоэффективности электроснабжения.

Данная статья призвана восполнить пробел в решении проблемы выбора поставщика энергоэффективного оборудования, а именно: энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов с учетом всех новейших теоретических разработок в этой области, полученных в последние годы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ

Парадигмой исследования проблемы выбора поставщика энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов должен являться системный подход. Это определяется тем, что повышение энергоэффективности электроснабжения требует, во-первых: рассмотрения в едином комплексе электропотребляющего оборудования и системы электроснабжения предприятия (объекта и т.д.); во-вторых: сочетания технических, экономических и организационных аспектов выбора поставщика.

Предлагаемая методология интегрировала все указанные аспекты и конвертировала их в процесс выбора поставщика, предполагающий ряд конкретных шагов и процедур, приводящих к объективно оптимальному результату.

Первое принципиальное положение новой методологии выбора поставщика распределительных масляных трансформаторов – это формирование оптимальных номинальных значений потерь на основе коэффициента загрузки трансформатора. Для обеспечения энергоэффективности электроснабжения необходимо вектор процесса формирования значений потерь холостого хода и короткого замыкания развернуть на 180°. Сегодня не заводы-производители должны предлагать значения потерь – их должен задавать потребитель на основании загрузки трансформаторов.

Второе принципиальное положение новой методологии заключается в проверке адекватности предлагаемых поставщиком цен энергоэффективные трансформаторы (на основе модели, изложенной в статье [11]).

Третье принципиальное положение новой методологии заключается в следующем: выбор поставщика должен осуществляться не на основе критерия минимальной цены, а на основе критерия минимальной полной дисконтированной стоимости владения трансформатором [8].

Четвертое принципиальное положение новой методологии заключается в необходимости расчета сроков окупаемости инвестиций в энергоэффективные распределительные масляные трансформаторы, предлагаемые заводами-производителями.

Пятое принципиальное положение новой методологии выбора поставщика предполагает необходимость включения в процедуру выбора обязательного анализа перечня проводимых на заводе испытаний предлагаемых трансформаторов. Потому что даже обязательные приёмо-сдаточные испытания распределительных трансформаторов в полном объеме отдельными предприятиями не проводятся. В результате по результатам тендеров зачастую закупается оборудование, заведомо не соответствующее условиям тендера как в части технических характеристик, так и в части требований надежного электроснабжения.

Данное положение методологии требует расширенного комментария.

В современных «рыночных» условиях выбора поставщика участники тендеров вынуждены идти на снижение себестоимости трансформаторов за счёт уменьшения размеров трансформатора, уменьшения объема активных материалов (снижение изоляционных расстояний, объема масла и количества «чёрного» металла, уменьшение числа гофр охлаждения, уменьшение размеров каналов охлаждения и т.п.). Однако такой «экономичный» трансформатор в течение 2-3 лет эксплуатации начинает «газовать» - реально он проработает безотказно чуть больше гарантийного срока! К сожалению, эти сознательные конструкторские «хитрости» выявить в процессе проведения приёмо-сдаточных испытаний в нормированном объёме не удаётся. В современных условиях практически единственной возможностью, позволяющей поставить барьер перед производителем, «заточенным» на выигрыш тендера любым способом, является:

1) включение в ТУ на энергоэффективные распределительные трансформаторы требования о минимальном уровне ЧР;

2) проведение испытаний индуктированным напряжением повышенной частоты с измерением частичных разрядов на заводе для каждого трансформатора.

Представленный комплекс основных положений новой методологии обеспечит объективный выбор поставщика энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОСТАВЩИКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

На основе вышеизложенной методологии сформирована новая методика выбора поставщика энергоэффективных масляных распределительных трансформаторов., включающая в себя 4 этапа. Для простоты изложения будем рассматривать выбор одного трансформатора.

1-й этап – Выбор характеристик энергоэффективного распределительного масляного трансформатора.

Выбор характеристик энергоэффективного распределительного масляного трансформатора основан на математических моделях, изложенных в работах автора [1, 2, 11, 12], и разработанных в развитие подходов, авторов работ [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Математическая модель определения потерь холостого хода и короткого замыкания в зависимости от нагрузки трансформатора выражается формулами, приведенной в работе [5]:

$$P_{кз} = (1 - K_{эффм}) * S / (2 * \alpha_m) \quad (1)$$

$$P_{xx} = P_{кз} * (\alpha_m)^2 \quad (2)$$

Где:

S – номинальная мощность трансформатора, В·А

$P_{кз}$ – потери короткого замыкания, Вт;

P_{xx} – потери холостого хода, Вт;

$K_{эффм}$ – максимум коэффициент энергоэффективности (коэффициент полезного действия трансформатора);

α_m – коэффициент загрузки, соответствующий максимуму коэффициента энергоэффективности.

Алгоритм действий первого этапа:

Потребная номинальная мощность и количество трансформаторов определяется, исходя из типа и установленной мощности электропотребляющего оборудования предприятия.

Коэффициенты загрузки α_m трансформаторов определяются на основе данных, связанных с планируемым режимом эксплуатации трансформаторов.

Коэффициенты энергоэффективности трансформаторов $K_{эффм}$ в зависимости от мощности задаются на основании данных из Постановления Правительства РФ от 17.06.2015 г. N 600 (Таблица 1).

Значения оптимальных потерь холостого хода и короткого замыкания определяются по зависимостям [5] на основании данных, полученных по результатам выполнения пунктов 1,2, 3.

Необходимо сделать следующее замечание: формула (2) определяет значение коэффициента нагрузки трансформатора, при котором достигается экстремум (максимум) коэффициента энергоэффективности трансформатора. Найденный таким образом коэффициент нагрузки оказывается достаточно низким с точки зрения эффективности распределительной сети в целом, что приводит, в конечном счете, к постоянному повышению тарифа на электроэнергию для конечного потребителя. Поэтому дальнейшее развитие предлагаемой методологии заключается в дополнении ее методом расчета максимального, экономически обоснованного коэффициента нагрузки трансформаторов.

2-й этап – Сбор ценовых предложений и характеристик поставщиков энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов на основе требований, полученных по результатам 1-го этапа.

После получения конкретных значений номинальной мощности трансформатора проводится сбор технико-коммерческих предложений от заводов-изготовителей энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов.

Отбираются предложения, в которых потери холостого хода и короткого замыкания не более тех, которые получены в результате расчета на этапе 1.

Образцы энергоэффективных трансформаторов отдельных производителей представлены на рисунках 1 и 2.

3-й этап – Анализ адекватности цен поставщиков энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов.

Необходимость проверки адекватности цен на энергоэффективные распределительные масляные трансформаторы заключается в следующем. Вследствие высокой конкуренции некоторые поставщики прибегают к демпингу, из-за которого у покупателя нет истинного, объективного представления о реальной стоимости энергоэффективного распределительного трансформатора. Однако такая картина может быть легко получена

№ п/п	Мощность трансформатора, кВА	Значение оптимального коэффициента загрузки, о.е.	Значение максимального коэффициента энергоэффективности, о.е. Кэффи
1	100	0,3780	0,9869
2	160	0,3995	0,9883
3	250	0,4038	0,9895
4	400	0,3759	0,9914
5	630	0,3443	0,9926
6	1000	0,3237	0,9932
7	1600	0,3162	0,9933
8	2500	0,3100	0,9937

Таблица 1. Значения коэффициентов энергоэффективности

для одного конкретного трансформатора, если воспользоваться моделью автора, приведенной в [11]. Изложенная в данной работе модель связывает цену трансформатора с его потерями холостого хода и короткого замыкания.

Приведенные в [11] формулы позволяют определить относительное изменение цены трансформатора при относительном изменении характеристик холостого хода и короткого замыкания. То есть, если взять за базу цену трансформатора с наилучшими значениями потерь холостого хода и короткого замыкания, то можно рассчитать, во сколько раз увеличится цена трансформатора с меньшими потерями холостого хода и короткого замыкания. Базовым можно выбрать либо одно из поступивших предложений, ибо среднерыночную цену стандартного трансформатора (не энергоэффективного). В приведенных далее примерах использованы цены в рублях, так как российские поставщики достаточно широко представлены в Республике Казахстан.

Анализ адекватности цен, предлагаемых поставщиками, предлагается осуществлять следующим образом.

Определить базовые параметры не энергоэффективного масляного распределительного трансформатора для анализа.

По формулам модели [11] получить конкретные теоретические значения относительного увеличения цен на трансформаторы с лучшими значениями потерь и рассчитать эти теоретические цены в абсолютном значении (умножением цены стандартного трансформатора на увеличивающий коэффициент, полученный по формулам [11]). Цена



Рисунок 1. Энергоэффективный масляный распределительный трансформатор с магнитопроводом из аморфной стали

будет тем больше, чем сильнее снижены потери холостого хода и короткого замыкания. Тем самым сформируется таблица адекватных цен, которые должны иметь закупаемые трансформаторы.



Рисунок 2. Энергоэффективный масляный трансформатор с витым объёмным магнитопроводом

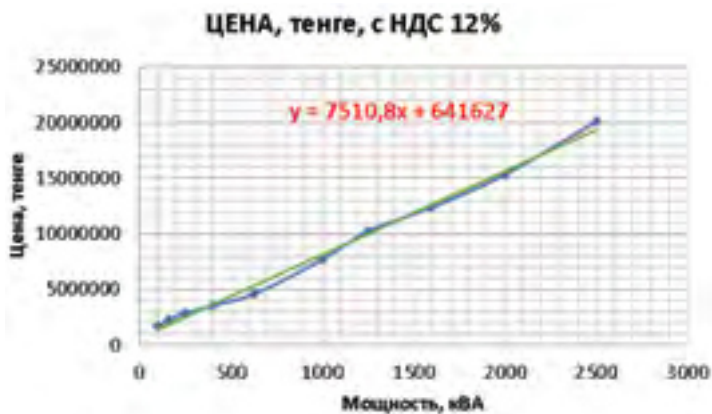


График 1. Цена – мощность трансформатора ТМГ

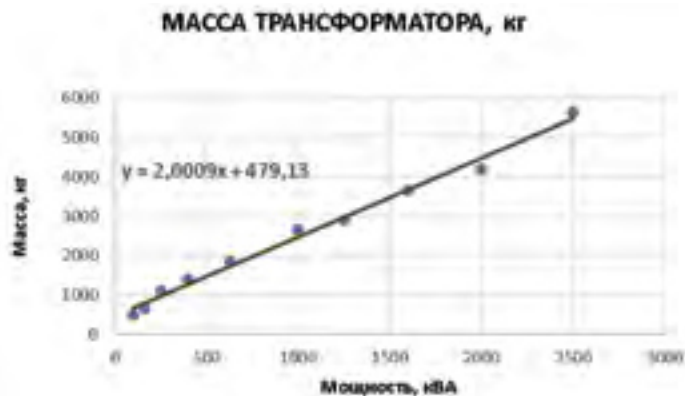


График 2. Масса – мощность трансформатора ТМГ

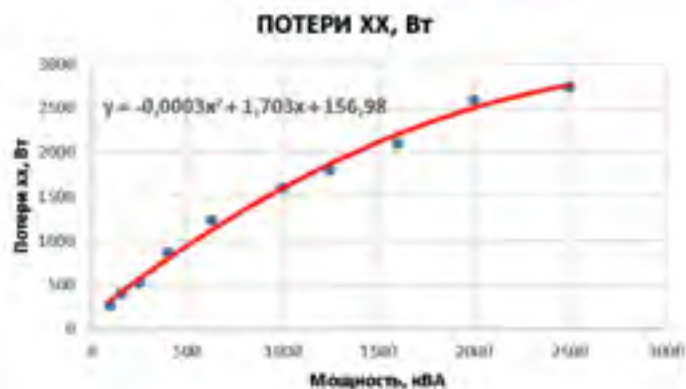


График 3. Потери холостого хода – мощность трансформатора ТМГ

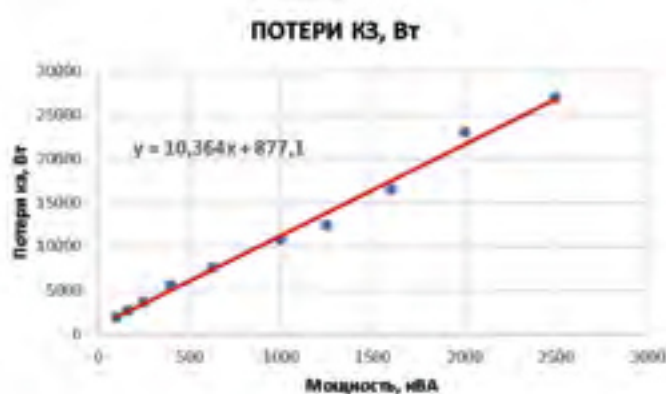


График 4. Потери короткого замыкания – мощность трансформатора ТМГ

Сравнивая расчетные цены с ценами в полученных технико-коммерческих предложениях, можно получить однозначный вывод о завышении или занижении цен конкретным поставщиком и сделать выбор в пользу одного из них.

На графиках 1–4 представлены формулы и графические иллюстрации статистических зависимостей среднерыночной цены обычного (не энергоэффективного) трансформатора ТМГ, его массы, потерь х.х. и к.з. от мощности трансформатора.

Данные зависимости можно использовать для получения базовых параметров не энергоэффективного трансформатора ТМГ с алюминиевыми обмотками климатического исполнения У1 для анализа адекватности предлагаемых цен на энергоэффективные распределительные трансформаторы.

4-й этап – Расчет экономического эффекта от снижения полной стоимости владения энергоэффективным трансформатором с учетом дисконти-

рованной стоимости потерь холостого хода и короткого замыкания и срока окупаемости энергоэффективного масляного распределительного трансформатора.

Для выбранного варианта закупки должны быть просчитаны экономический эффект от снижения полной стоимости владения энергоэффективным трансформатором и срок окупаемости инвестиций в энергоэффективный распределительный масляный трансформатор по сравнению со стандартным (не энергоэффективным) трансформатором по формулам, приведенным в работе [5, 8].

Экономический эффект от применения энергоэффективного трансформатора рассчитывается по формуле:

$$\Delta C_n = \Delta Д [1 - \exp(-T_{сл} * i)] / i \text{ [у.е.]} \quad (3)$$

$$\Delta Д = C_n * 8760 * (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} (\alpha_M)^2) \quad (4)$$

$$T_d = -\ln(1 - T_0 * i) / i \quad (5)$$

$$T_0 = \Delta C_c / \Delta Д$$

Где:

ΔC_n – полный дисконтированный доход от применения энергоэффективного трансформатора (экономический эффект от снижения полной стоимости владения энергоэффективным трансформатором), у.е.

$\Delta Д$ – годовой доход от внедрения энергоэффективного трансформатора, у.е.

C_n – стоимость потерь, у.е./кВт·ч;

ΔC_c – капиталовложения в применение энергоэффективного оборудования (разница в цене между энергоэффективным трансформатором и стандартным трансформатором), у.е.

ΔP_{xx} – разница в потерях холостого хода, кВт.

$\Delta P_{кз}$ – разница в потерях короткого замыкания, кВт.

i – норма процента доходности, о.е.

$T_{сл}$ – срок службы трансформатора,

T_d – срок окупаемости при дисконтировании дохода от внедрения энергоэффективного трансформатора, лет.

T_0 – бездисконтный срок окупаемости, лет.

ПРИМЕР ВЫБОРА
ПОСТАВЩИКА
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО
МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Требуется выбрать поставщика распределительного энергоэффективного масляного трансформатора мощностью для предприятия с суммарной полной установленной мощностью потребителей 1000 кВ·А. Загрузка трансформатора планируется на 30 % ($\alpha_m = 0,30$).

Этап 1.

По формулам (1) и (2) получаем:

$P_{кз} = 11333$ Вт (до 12 470 Вт с учетом допуска +10 % по ГОСТ Р 52719).

$P_{xx} = 1020$ Вт (до 1173 Вт с учетом допуска +15 % по ГОСТ Р 52719).

Этап 2.

От российских поставщиков предлагаются два трансформатора ТМГ-1000/10:

1) По цене 602 940 руб. с НДС 20 % с характеристиками $P_{xx} = 1400$ Вт $P_{кз} = 10500$ Вт,

2) По цене 594 000 руб. с НДС 20 % с характеристиками $P_{xx} = 1100$ Вт $P_{кз} = 10500$ Вт.

По результатам отбора остается вариант 2. Первый вариант не удовлетворяет требованиям P_{xx} .

Этап 3.

Выберем за базу рыночную цену трансформатора ТМГ-1000/10 с характеристиками $P_{xx} = 1600$ Вт $P_{кз} = 10800$ Вт. Цена на рынке такого трансформатора будет составлять 514 000 руб. с НДС 20 %.

Этап 4.

По модели работы [11] определим адекватную цену варианта 2.

Адекватная цена второго варианта по сравнению с базовым среднерыночным вариантом должна составлять 583 000 руб. с НДС 20 %.

Разница адекватной цены и цены, представленной поставщиком составляет 2 %, что свидетельствует об адекватности коммерческого предложения заявленным характеристикам.

Этап 5.

По формулам (3) – (5) рассчитываем экономический эффект от использования энергоэффективного трансформатора и срок окупаемости инвестиций в энергоэффективное оборудование.

Для выбранного энергоэффективного распределительного масляного трансформатора ТМГ-1000/10 полный дисконтированный доход от применения энергоэффективного трансформатора (экономический эффект от снижения полной стоимости владения энергоэффективным трансформатором) по сравнению со стандартным трансформатором составил 247 000 руб.

Срок окупаемости инвестиций в энергоэффективный распределительный масляный трансформатор по сравнению со стандартным (не энергоэффективным) составил 2,2 года.

ВЫВОДЫ

Предложена новая методология выбора поставщика энергоэффективных распределительных масляных

трансформаторов на основе парадигмы взаимосвязи потерь холостого хода и короткого замыкания с ценой трансформатора. Данная методология включает себя:

1) обоснованный подбор оптимальных потерь холостого хода и короткого замыкания, как базовых показателей энергоэффективности распределительного трансформатора в зависимости от режимов работы;

2) сравнительный комплексный технико-экономический анализ оборудования разных поставщиков на базе упрощенной модели анализа изменения цены трансформатора при изменении потерь холостого хода и короткого замыкания;

3) оценку экономического эффекта от применения энергоэффективных трансформаторов и срока окупаемости инвестиций в энергоэффективные мероприятия.

Внедрение данной методологии в практику закупки распределительных масляных трансформаторов в масштабах всей страны послужит барьером от проникновения в распределительные электрические сети оборудования низкого качества от недобросовестных поставщиков.

Выражаю искреннюю благодарность ведущим специалистам завода «Трансформер» (г. Подольск): к.т.н. Печенкину В.И., к.т.н. Стулову А.В., главному конструктору Трофимовичу И.А., – за предоставленные материалы и конструктивное обсуждение содержания и выводов данной статьи.

Список литературы

1. Савинцев Ю.М. Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов: Часть 1: I – III габарит / Юрий Михайлович Савинцев. – [б.м.]: - Издательские решения, 2015. – 86 с.
2. Савинцев Ю.М. Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов: Часть 2: IV – VIII габарит / Юрий Михайлович Савинцев. – [б.м.]: - Издательские решения, 2016. – 106 с.
3. Стулов А.В. Современные тенденции в проектировании силовых трансформаторов / А.В.Стулов, И.А. Трофимович, А. И. Тихонов // Тезисы докл. междунар. науч.- техн. конф. (XIX Бенардосовские чтения) / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2017. – Т.3 – С.182-185.
4. Якшина Н.В. Новый Стандарт ПАО «Россети» // Вести в электроэнергетике. – 2017. - № 3(89). – с. 38-42.
5. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д., Магницкий А.А. Нормирование энергоэффективности распределительных трансформаторов // Энергия единой сети. – 2017. - № 5 (34). – с. 20 – 31.
6. Пекелис В.Г., Мышковац Е.В., Леус Ю.В. Определение оптимальных уровней потерь холостого хода и короткого замыкания для различных режимных условий работы трансформаторов мощностью до 1600 кВА // ЭЛЕКТРО. – 2003. - № 1. – с. 42 – 46.
7. Тульчинская Я.И. Оценка эффективности применения трансформаторов с низким коэффициентом загрузки. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. - №5. – с. 581 – 589.
8. Дмитриев А.Н.Ковалев И.Н., Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / Дмитриев А.Н.Ковалев И.Н., Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.
9. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е изд. перераб. и доп. // Энергоатомиздат. – 1986. - 528с.
10. Дымков А.М. Расчет и конструирование трансформаторов: Учебник для техникумов // Высшая школа. - 1971. - 264 с.
11. Савинцев Ю.М. «Монетизация» энергоэффективности // Энергетика и промышленность России. – 2019. - № 5 (361). – С. 36-37.
12. Савинцев Ю.М. Выбор надежного поставщика силовых трансформаторов – гарантия надежного электроснабжения // Энерго info. – 2009. - №10. – с. 48-50.