ВЫБОР ПОСТАВЩИКА — ЭЛЕМЕНТ СТРАТЕГИИ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

АВТОР:

Ю.М. САВИНЦЕВ,
К.Т.Н.,
ООО «ЭТК «ЗОЛОТОЙ ТРЕУГОЛЬНИК»

Современный распределительный масляный трансформатор сегодня — это высокотехнологичный продукт и важнейший элемент в цепочке энергоэффективной транспортировки электроэнергии от предприятия генерации к потребителю. Выбор поставщика оптимального трансформатора для конкретной организации во многом зависит от корректности и профессионализма составления техзадания.

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

ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении проблемы выбора поставщика трансформаторного оборудования необходимо иметь в виду следующие базовые моменты текущего состояния и тенденций развития рынка масляных распределительных трансформаторов:

1. Электрораспределительная сеть, состоящая фрагментарно из сетей различного класса напряжений, является для электрического тока физически единым механизмом транспортировки электроэнергии. И этот общегосударственный механизм должен быть надежным, энерго- и экономически эффективным.
2. 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 соответствовать, с одной стороны, требованиям по обеспечению транспортировки заданного объема электроэнергии, а с другой стороны, — требованиям по обеспечению энергоэффективности всей сети электроснабжения.
3. Общее количество трансформаторов I–III габаритов, эксплуатируемых в России (по оценке в соответствии с ценологической моделью автора [1]), составляет примерно 2,6 млн шт. При росте электропотребления на уровне около 10 млрд кВт·ч за год потребность в распределительных трансформаторах составляет примерно 54 000–73 000 шт. (с учетом потребности для замен от 1 до 2 % от общего количества установленных трансформаторов).
4. 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.
5. Рынок производителей масляных трансформаторов на сегодняшний день является крайне конкурентным.

В России и на территории Таможенного союза работает 27 крупных, средних и мелких предприятий по производству распределительных и силовых трансформаторов:

1. ООО «Силовые машины — Тошиба. Высоковольтные трансформаторы» (СМТТ), г. Санкт-Петербург;
2. ООО «Сименс трансформаторы», г. Воронеж;
3. ОАО «ПК 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. АО «Электрощит», 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. ТОО «Уральский трансформаторный завод», г. Уральск, Республика Казахстан;
15. ООО «НВА», г. Рассказово, Тамбовская обл.;
16. АО «Люберецкий завод «Монтажавтоматика», г. Люберцы, Московская обл.;
17. АО «Мытищинский трансформаторный завод», г. Мытищи, Московская обл.;
18. ООО «Трансформатор-Реж», г. Реж, Свердловская обл.;
19. АО «ЧОЭЗ «Энергозапчасть», г. Чебоксары, Чувашская Республика;
20. АО «Чеховский трансформаторный завод», г. Чехов, Московская обл.;
21. ООО «Завод силовые трансформаторы», г. Курган;
22. ООО «ПК «СлавЭнерго», г. Ярославль;
23. ООО «Проектэлектротехника», г. Шумерля, Чувашская Республика;
24. ООО «Комплектпромматериалы», г. Санкт-Петербург;
25. ООО «Барнаульский трансформаторный завод», г. Барнаул;
26. ООО «Электромашиностроительный завод», г. Москва, г. Екатеринбург;
27. ЗАО «ГК «Электрощит» — ТМ Самара», г. Самара.

Подробная характеристика каждого производителя дана в двух частях книги «Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов» [1, 2].

Также на территории России работает не поддающееся точной оценке количество ремонтных предприятий, которые не только ремонтируют (что само по себе часто является единственным выходом для потребителя трансформаторов), но иногда выдают отремонтированные трансформаторы за новые, подделывая документы крупных заводов. А это не только наносит колоссальный вред честному имени добросовестных производителей, но и сильно

снижает надежность электроснабжения, одновременно очень сильно увеличивая потери при трансформации электроэнергии.

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

- определить, какой именно трансформатор в части номинальной мощности и потерь холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) необходимо приобрести;
- у какого именно производителя произвести закупку трансформаторов.

До сих пор во всех случаях, как бы серьезно в организационном плане ни обставлялся процесс закупки распределительных трансформаторов (да и любых других), главным критерием выбора поставщика (производителя) является минимальная цена закупки. Главенствующей стратегией конкурентной борьбы является демпинг. Это приводит к закупке некачественного трансформаторного оборудования и снижению в целом надежности электроснабжения. Эксплуатирующие компании также несут прямые финансовые потери, поскольку вынуждены повторно закупать оборудование, но уже по более высоким ценам, так как закупленное по низким выходит из строя.

Такая ситуация однозначно связана с отсутствием фильтра, препятствующего проникновению к покупателю и, в конечном счете, в частные и государственные электрические сети низкокачественной трансформаторной продукции. Для создания подобного фильтра необходимо:

- во-первых, разработать общегосударственную методологию 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, сделать такую методологию обязательной к применению для любого покупателя — частного или государственного. Методология должна быть законодательно утверждена соответствующим государственным органом;
- в-третьих, сделать для всех покупателей трансформаторного оборудования обязательным независимый контроль параметров трансформаторов при вводе в эксплуатацию, так же 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 установлены в двух нормативных документах:

1. Постановление Правительства РФ от 17.06.2015 № 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 подписания договоров технологического присоединения к электросетям. В небольших организациях и предприятиях все функции по выбору и приобретению трансформаторов возложены на нескольких человек или вообще на одного. Для оптовых покупателей (электросети, предприятия нефтегазовой промышленности, транспорта и др.), в которых существуют специализированные подразделения по проектированию электроснабжения, материально-техническому снабжению, вопросы выбора и приобретения трансформатора решаются в ходе более сложной процедуры.

Но во всех случаях решаются два принципиальных вопроса:

1. Какой должна быть номинальная мощность приобретаемых трансформаторов?
2. Какими должны быть потери ХХ и КЗ у приобретаемых трансформаторов для обеспечения энергосберегающих мероприятий?

В нескольких работах [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] всесторонне рассмотрены проблемы проектирования трансформаторов с оптимальными характеристиками в целом, а также 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 либо действуют по наитию, опираясь на опыт компетентных сотрудников-снабженцев, либо проводят процедуры закупки по внутренним корпоративным

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

№ п/п	Мощность трансформатора, кВА	Значение оптимального коэффициента загрузки, о. е.	Значение максимального коэффициента энергоэффективности, $K_{эфф}$, о. е.
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

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 наработок в этой области, полученных в последние годы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ

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

Предлагаемая методология интегрировала все указанные аспекты и конвертировала их в методику выбора поставщика, предполагающую ряд конкретных шагов и процедур, приводящих к 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 ХХ и КЗ 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 на энергоэффективные трансформаторы (на основе модели, изложенной в статье «"Монетизация" энергоэффективности» [11]).

Третье принципиальное положение новой методологии заключается в том, чтобы выбор поставщика осуществлялся на основе критерия минимальной полной дисконтированной стоимости владения трансформатором, а не критерия минимальной цены [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 состоит в необходимости включения в процедуру выбора обязательного анализа перечня проводимых на заводе ис-

ИЗ ОТРАСЛЕВОГО СТАНДАРТА ПАО «РОССЕТИ»

В отраслевом стандарте 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» устанавливаются 4 категории уровня максимальных потерь в силовом трансформаторе 6–10 кВ (холостого хода — индексом «Х», и короткого замыкания — с индексом «К»): 1, 2, 3 и 4. Установлено 4 класса энергоэффективности:

1. «стандартный» (выпускаемые трансформаторы);
2. «энергоэффективный» (усовершенствованная технология);
3. «высокий энергоэффективный» (передовая технология);
4. «инновационный» (инновационная технология).

пытаний предлагаемых трансформаторов, потому что даже обязательные приемо-сдаточные испытания распределительных трансформаторов в полном объеме отдельными предприятиями не проводятся.
В результате по итогам тендеров зачастую закупается оборудование, заведомо не соответствующее условиям тендера как в части технических характеристик, так и в части требований надежности электроснабжения.

Данное положение методологии требует расширенного комментария.

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

- включение в ТУ на энергоэффективные распределительные трансформаторы требования о минимальном уровне частичных разрядов (ЧР);
- проведение испытаний индуктированным напряжением повышенной частоты с измерением ЧР 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 четыре этапа. Для простоты изложения будем рассматривать выбор одного трансформатора.

Этап 1. Выбор характеристик энергоэффективного распределительного масляного трансформатора.

Выбор характеристик основан на математических моделях, изложенных в работах автора [1, 2, 11, 12] и разработанных в развитие подходов А.В. Стулова [3], Н.В. Якшина [4], В.Н. Ивакина и соавторов [5], В.Г. Пекелиса и соавторов [6], Я.И. Тульчинской [7], А.Н. Дмитриева и соавторов [8].

Математическая модель определения потерь ХХ и КЗ в зависимости от нагрузки трансформатора выражается следующими формулами [5]:

$$P_{кз} = (1 - K_{эфф}) \times S / (2 \times \alpha_м); \quad (1)$$

$$P_{хх} = P_{КЗ} \times (\alpha_м)^2, \quad (2)$$

где

S — номинальная мощность трансформатора, ВА;

$P_{кз}$ — потери КЗ, Вт;

$P_{хх}$ — потери ХХ, Вт;

$K_{эфф}$ — максимум коэффициента энергоэффективности (коэффициент полезного действия трансформатора);

$\alpha_м$ — коэффициент загрузки, соответствующий максимуму коэффициента энергоэффективности.

Алгоритм действий первого этапа таков:

1. Потребная номинальная мощность и количество трансформаторов определяются, исходя из типа и установленной мощности электропотребляющего оборудования предприятия.
2. Коэффициенты загрузки $\alpha_м$ трансформаторов определяются на основе данных, связанных с планируемым режимом эксплуатации трансформаторов.
3. Коэффициенты энергоэффективности трансформаторов $K_{эфф}$ в зависимости от мощности задаются на основании данных из Постановления Правительства РФ от 17.06.2015 № 600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности» (табл. 1 на с. 51).
4. Значения оптимальных потерь ХХ и КЗ 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.

Этап 2. Сбор ценовых предложений и характеристик поставщиков энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов на основе требований, полученных по результатам этапа 1.

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

Отбираются предложения, в которых потери ХХ и КЗ не больше тех, которые получены в результате расчета на этапе 1.

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

Этап 3. 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 для одного конкретного трансформатора, если воспользоваться моделью автора, приведенной в статье «¨Монетизация¨ энергоэффективности» [11]. Модель связывает цену трансформатора с его потерями ХХ и КЗ. Приведенные в модели формулы позволяют определить относительное изменение цены трансформатора при относительном изменении характеристик ХХ и КЗ. То есть если взять за базу цену трансформатора с наихудшими значениями потерь ХХ и КЗ, то можно рассчитать, во сколько раз увеличится цена трансформатора с меньшими потерями ХХ и КЗ. В качестве базового можно выбрать либо одно из поступивших предложений, либо среднерыночную цену стандартного трансформатора (не энергоэффективного).

Анализ адекватности цен, предлагаемых поставщиками, следует проводить следующим образом:

1. Определить базовые параметры стандартного масляного распределительного трансформатора для анализа.
2. По формулам модели [11] получить конкретные теоретические значения относительного увеличения цен на трансформаторы с лучшими показателями потерь и рассчитать эти теоретические цены в абсолютном выражении (путем умножения цены стандартного трансформатора на увеличивающий коэффици-

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МАСЛЯНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

Рис. 1

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МАСЛЯНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР С ВИТЫМ ОБЪЕМНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Рис. 2

ент, полученный по формулам модели). Цена будет тем больше, чем сильнее снижены потери ХХ и КЗ. Тем самым сформируется таблица адекватных цен, которые должны иметь закупаемые трансформаторы.

3. 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 рис. 3–6 представлены формулы и графические иллюстрации статистических зависимостей среднерыночной цены обычного (не энергоэффективного) трансформатора ТМГ, его массы, потерь ХХ и КЗ от мощности трансформатора. Данные зависимости можно использовать для получения базовых параметров обычного трансформатора ТМГ с алюминиевыми обмотками климатического исполнения У1 для анализа адекватности предлагаемых цен на энергоэффективные распределительные трансформаторы.

Этап 4. Расчет экономического эффекта от снижения полной стоимости владения энергоэффективным трансформатором с учетом дисконтированной стоимости потерь ХХ и КЗ 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) по формулам, приведенным в работах В.Н. Ивакина и соавторов [5], А.Н. Дмитриева и соавторов [8].

Экономический эффект от применения энергоэффективного трансформатора рассчитывается по формулам:

$$\Delta C_п = \Delta Д\ [1 - \exp(-T_{сл} \times i)] / i\ [у.\ е.]; \quad (3)$$

$$\Delta Д = C_п \times 8760 \times (\Delta P_{хх} + \Delta P_{кз}); \quad (4)$$

$$T_д = -\ln(1 - T_о \times i) / i; \quad (5)$$

$$T_о = \Delta C_ц / \Delta Д,$$

где

$\Delta C_п$ — 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.;

$C_п$ — стоимость потерь, у. е. / кВТ·ч;

$\Delta C_ц$ — капиталовложения в применение энергоэффективного оборудования (разница в цене между энергоэффективным трансформаторов и трансформаторами), у. е.;

$\Delta P_{хх}$ — разница в потерях ХХ, кВт;

$\Delta P_{кз}$ — разница в потерях КЗ, кВт;

i — норма доходности, о. е.;

$T_{сл}$ — срок службы трансформатора, лет;

$T_д$ — срок окупаемости при дисконтировании дохода от внедрения энергоэффективного трансформатора, лет;

$T_о$ — бездисконтный срок окупаемости, лет.

ПРИМЕР ВЫБОРА ПОСТАВЩИКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

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

Этап 1. По формулам (1) и (2) получаем:

$P_{кз}$ = 11 333 Вт (до 12 470 Вт с учетом допуска + 10 % по ГОСТ Р 52719);

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

Этап 2. Предлагаются два трансформатора ТМГ-1000/10:

1. по цене 602 940 руб. с НДС 20% с характеристиками $P_{хх}$ = 1400 Вт, $P_{кз}$ = 10 500 Вт;
2. по цене 594 000 руб. с НДС 20% с характеристиками $P_{хх}$ = 1100 Вт, $P_{кз}$ = 10 500 Вт.

По результатам отбора остается вариант 2. Первый вариант не удовлетворяет требованиям по величине $P_{хх}$.

Этап 3. Примем за базу рыночную цену трансформатора ТМГ-1000/10 с характеристиками $P_{хх}$ = 1600 Вт, $P_{кз}$ = 10 800 Вт. Цена такого трансформатора на рынке составляет 514 000 руб. с НДС 20 %.

Этап 4. По модели из статьи «"Монетизация" энергоэффективности» [11] определим адекватную цену варианта 2. Она должна составлять 583 000 руб. с НДС 20 %. Разница адекватной цены и цены, представленной поставщиком, равна 2 %, что свидетельствует о соответствии коммерческого предложения заявленным характеристикам.

Этап 5. По формулам (3)–(5) рассчитаем 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 составил 247 000 руб.

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

ВЫВОДЫ

Предложена новая методология выбора поставщика энергоэффективных распределительных масляных трансформаторов на основе парадигмы взаимосвязи потерь ХХ и КЗ с ценой трансформатора. Данная методология включает в себя:

1. обоснованный подбор оптимальных потерь ХХ и КЗ 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 ХХ и КЗ;
3. оценку экономического эффекта от применения энергоэффективных трансформаторов и срока окупаемости инвестиций в энергоэффективные мероприятия.

СООТНОШЕНИЕ ЦЕНЫ И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ

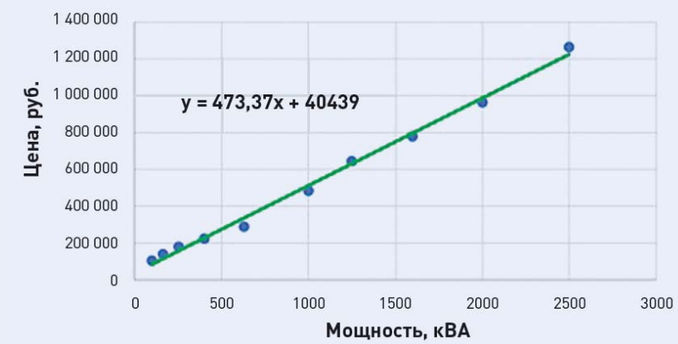

Рис. 3

СООТНОШЕНИЕ МАССЫ И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ

Рис. 4

СООТНОШЕНИЕ ПОТЕРЬ ХХ И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ

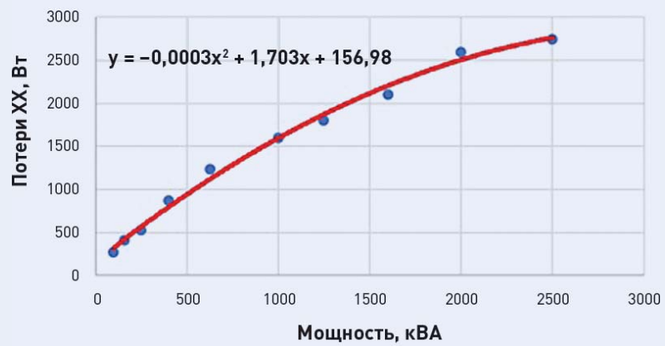

Рис. 5

СООТНОШЕНИЕ ПОТЕРЬ КЗ И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ

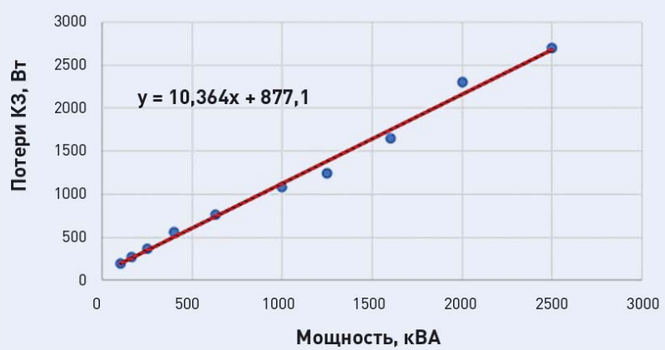

Рис. 6

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. В.И. Печенкину и к.т.н. А.В. Стулову за предоставленные материалы и конструктивное обсуждение содержания и выводов данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савинцев Ю.М. Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов. Ч. 1: I–III габарит. Б. м.: Издательские решения, 2015. 86 с.
2. Савинцев Ю.М. Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов. Ч. 2: IV–VIII габарит. 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., Мышковец 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. // 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 / М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 120 с.
9. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вузов. 5-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986. 528 с.
10. Дымков А.М. Расчет и конструирование трансформаторов: Учебник для техникумов. М.: Высшая школа, 1971. 264 с.
11. Савинцев Ю.М. «Монетизация» энергоэффективности // Газета «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.

ИЗДАЕТСЯ С 1954 Г.

РУМ

Научно-технический журнал

РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Приглашаем экспертов в области электроэнергетики стать постоянными авторами журнала «Руководящие материалы по проектированию и эксплуатации электрических сетей»

«РУМ — ЕДИНЫЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ОБ АКТУАЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РОССИЙСКОГО ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА».

Д.А. Воденников, Заместитель Председателя Правления — Главный инженер ПАО «ФСК ЕЭС»

ЧИТАЙТЕ РУМ

Сайт: http://cis-ees.ru/RUM
Страница в ФБ: https://www.facebook.com/RUMNTC/
Телеграмм-канал: https://t.me/ntcfsk

реклама