

Проблемы надежности работы силовых трансформаторов

А.В. Хлыстиков^a, И.В. Игнатъев^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^aal@stemi.ru, ^buts@brstu.ru

Статья поступила 6.05.2013, принята 19.08.2013

Рассмотрены и проанализированы теоретические исследования, образующие научную основу для комплексного подхода к проблеме повышения надежности эксплуатации силовых трансформаторов, позволяющие расширить представления о проблемах эксплуатации существующего парка силовых трансформаторов. Проанализированы нормативные материалы, регламентирующие работу силовых трансформаторов в России. Рассмотрены процессы, приводящие к развитию повреждений силовых трансформаторов в эксплуатации, а также методы их контроля и критерии принятия решений по возможности и целесообразности дальнейшей эксплуатации. Показано, что исследование проблем надежности работы имеет важное народнохозяйственное значение и направлено на повышение надежности работы парка силовых трансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и подстанциях электрических сетей Российской Федерации. Также показано, что для получения практических результатов необходимо провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований, разработать соответствующие методы и критерии.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, надежность работы, срок службы, проблемы эксплуатации, повреждаемость, оценка технического состояния.

Problems of power transformers operation reliability

A. V. Khlystikov^a, I. V. Ignat'yev^b

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

^aal@stemi.ru, ^buts@brstu.ru

Received 6.05.2013, accepted 19.08.2013

The theoretical researches making up a scientific basis for an integrated approach to the problem of increase of the power transformers operation reliability and allowing broadening the ideas of the operation problems for the existing power transformers park have been considered and analyzed. The standard manuals regulating power transformers operation in Russia have been analyzed. The processes resulting in failure development of the power transformers in operation as well as the methods of their control and decision-making criteria concerning the possibility and expediency of power transformers further operation have been considered. It has been demonstrated that the research into the problems of power transformers operation reliability is of important economic value aimed at the increase of operation reliability of the power transformers park operated at Russia's electric networks power plants and substations. It has also been noted that to obtain some practical effect, it is necessary to conduct a complex of theoretical and pilot studies as well as to develop the methods and criteria.

Keywords: power transformers, operation reliability, service life, operation problems, damageability, assessment of technical condition.

Введение

Надежность работы электрических сетей, электростанций и энергосистем в значительной степени зависит от надежности работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов (силовых трансформаторов), так как они являются наиболее массовыми элементами энергосистем электростанций и электрических сетей.

Особенностью экономического развития Российской энергетики в настоящее время и в среднесрочной перспективе является необходимость эксплуатации значительного числа силовых трансформаторов с большим сроком службы (превышающим расчетный срок в 1,5-2 раза).

В этих условиях совершенствование системы сервисного обслуживания трансформаторов с большим сроком службы выдвигает задачи поддержания их работоспособности, а также надежности электрооборудования в целом.

Необходима корректная оценка «паркового» (группового) ресурса всего массива силовых трансформаторов как в рамках отрасли, так и в рамках конкретных энергетических объединений. При этом необходимо оценить затраты на работы по продлению срока службы трансформаторов, так как срок службы значительной части данного оборудования может быть продлен до паркового только после проведения профилактического ремонта. Необходимые данные для решения задач стратегического планирования могут быть получены на основании рационального диагностирования парка «старых» трансформаторов с учетом имеющегося опыта их эксплуатации [1, 2].

Продление ресурса конкретного силового трансформатора осуществляется на основании проведения комплексного обследования. Это трудоемкая, наукоемкая и дорогостоящая процедура, проведение которой связано с выполнением диагностических операций в

соответствии с отраслевыми документами.

Для целей стратегического планирования необходимо знать с абсолютной точностью все характеристики каждого трансформатора. Для определения «паркового» ресурса вполне достаточно усредненных данных о характеристиках надежности определенной совокупности трансформаторов на перспективу 12-15 лет. При этом номенклатура и методология получения диагностических показателей, регламентируемых нормативными документами [1, 2, 5, 6], недостаточны для корректного определения паркового ресурса трансформаторов. Большое число трансформаторов с большим сроком службы приводит к противоречивой ситуации при определении «паркового» ресурса. На основании только действующих нормативных документов нельзя получить адекватное представление о фактическом состоянии трансформаторов с большим сроком эксплуатации. Технология комплексного обследования позволяет получить данные о всем парке стареющих трансформаторов в течение 15-20 лет.

Несмотря на то, что в настоящее время накоплен достаточный научный и практический опыт оценки и прогнозирования ресурса силовых трансформаторов, пока еще отсутствует нормативный документ, регламентирующий саму процедуру продления ресурса силовых трансформаторов. Согласно ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» силовые трансформаторы подлежат обязательной экспертизе промышленной безопасности как технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте.

В течение эксплуатации силовых трансформаторов необходимо проводить диагностику и обслуживание с целью безопасной и безотказной работы на протяжении всего жизненного цикла трансформатора (25-30 лет). Диагностика и обслуживание должны показывать процесс старения силовых трансформаторов во время эксплуатации. Обнаружение дефектов в начальной стадии позволяет поддерживать надежную работу трансформаторов, помогает определить «жизненный цикл» и облегчает планирование их замены. Эффективная программа диагностических испытаний позволяет снизить вероятность образования дефектов и выхода из строя трансформаторов.

Анализ срока службы и повреждаемости силовых трансформаторов. Значительное количество силовых трансформаторов, эксплуатируемых на предприятиях энергетики России, находится в эксплуатации более 25 лет, отработав установленный ГОСТом 11677-85 срок службы – 25 лет [1, 2], как показано в таблице 1.

В эксплуатации на предприятиях энергетики России находятся трансформаторы, изготовленные в соответствии с ГОСТ 11677-65, имеющие недостаточную электродинамическую стойкость к возросшим уровням токов короткого замыкания в энергосистемах. Расчетная мощность трехфазного короткого замыкания в сетях – 6-750 кВ в соответствии с ГОСТ 11677-85 [1]. Она в 2,5 раза больше принятой в ГОСТ 11677-65.

Таблица 1

Срок службы силовых трансформаторов на предприятиях России (по данным [2])

Тип трансформаторов	Место эксплуатации	Количество трансформаторов от общего числа эксплуатируемых силовых трансформаторов, %
Парк силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше	Энергетические предприятия России	40 %
Парк блочных трансформаторов напряжением 110-500 кВ мощностью 63 МВА и более	Тепловые и гидравлические электростанции РАО «ЕЭС России»	46 %
Парк силовых трансформаторов, эксплуатируемых на предприятиях электрических и межсистемных сетей	Холдинг РАО «ЕЭС России»	32 %
Силовые трансформаторы	Подстанции ОАО «ФСК ЕЭС»	30,7 %

Динамика ввода нового оборудования в последние годы на предприятиях энергетического комплекса России имеет низкие значения, которые показаны в таблице 2.

Таблица 2

Динамика ввода нового оборудования (данные ОАО «ФСК ЕЭС» [2])

Количество трансформаторов от общего числа эксплуатируемых силовых трансформаторов, %	Год
0,25 %	2004
1,79 %	2005
2,7 %	2006
2,17 %	2007

Удельная повреждаемость трансформаторов, разработанных до 70-х годов прошлого столетия, превышает 1 % в год, у новых она составляет около 0,2 % [3]. Основные повреждения силовых трансформаторов в эксплуатации – это повреждения:

- обмоток,
- высоковольтных вводов,
- устройств РПН.

Причинами повреждений являются:

- развитие дефектов под влиянием эксплуатационных факторов,
- ошибочные или недостаточные действия при монтаже, ремонте и эксплуатации.

Данные об удельной повреждаемости силовых трансформаторов за рубежом. В разных странах существуют различные подходы к анализу повреждаемости, трактовке самого понятия и к формированию статистических данных, что не позволяет проводить корректное сравнение. В развитых странах удельная повреждаемость силовых трансформаторов оценивается

не более 1,5-2 % в год [4 – 6].

Вопросами анализа повреждаемости силовых трансформаторов в бывшем СССР и в России системно занимались многочисленные организации (таблица 3).

Таблица 3

Анализ повреждаемости силовых трансформаторов

Страна	Организация	Проведенные мероприятия
В бывшем СССР и в России до 2000 года	АО «ВНИИЭ»	<i>Анализ повреждаемости силовых трансформаторов с оценкой общей удельной повреждаемости за различные периоды, с описанием причин повреждений и разработкой мероприятий для повышения их надежности</i>
	НИЦ «ЗТЗ Сервис»	<i>Анализ повреждений крупных трансформаторов напряжением 110 кВ и выше, которые эксплуатировались в СССР, а позднее в СНГ с выявлением основных причин их повреждений</i>
	Фирма «ОРГРЭС»	<i>Статистический анализ технологических нарушений в работе трансформаторов всех классов напряжений с выпуском ежегодных аналитических обзоров и описанием наиболее серьезных и характерных повреждений</i>
	Департамент генеральной инспекции РАО «ЕЭС России», с 1996 г.	<i>Функционировала электронная база данных актов расследования технологических нарушений в работе силовых трансформаторов [7], где обобщались статистические данные о количестве и причинах нарушений</i>
В России после 2000 года	С 2000 г. введено новое Положение [8] контроля и оценки состояния трансформаторов	<i>Анализ выявленных недостатков при организации эксплуатации данного вида оборудования с ежегодным экспертным анализом эффективности разрабатываемых предприятиями энергетики мероприятий по их устранению</i>

Благодаря достаточно высокой эффективности системы диагностического и ремонтного обслуживания силового трансформаторного оборудования в 90-х годах прошлого столетия в отношении силовых трансформаторов начала реализовываться концепция перехода от нормативно-календарного планирования ремонтов к их проведению «по состоянию» (т. е. в зависимости от фактического технического состояния). В соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭС) [9] ремонт трансформаторов (капитальный и текущий) и их составных частей (РПН, система охлаждения и др.) выполняются по мере необходимости, в зависимости от их технического состояния, определяемого измерениями, испытаниями и внешним осмотром.

Оценка технического состояния силовых трансформаторов в эксплуатации ведется по комплексу контро-

лируемых показателей и их нормативам. Основным документом, регламентирующим перечень испытаний силовых трансформаторов и высоковольтных вводов при вводе в работу и в процессе эксплуатации, предельно-допустимые значения контролируемых показателей и периодичность контроля, является РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования». В шестом издании РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» (1998 г.) [10] для силовых трансформаторов существенно расширен перечень контролируемых параметров. Ранее нормированные традиционные показатели оценки состояния силовых трансформаторов дополнены новыми показателями:

- хроматографический анализ газов, растворенных в масле;
- контроль содержания фурановых соединений в масле;
- измерение степени полимеризации;
- контроль содержания антиокислительной присадки ионол;
- тепловизионный контроль и др.

К концу 90-х годов прошлого столетия в дополнение к РД [10], применительно к оценке состояния силовых трансформаторов в эксплуатации, действовала система руководящих нормативно-технических документов в виде методических указаний и методик. Это позволяло:

- в комплексе определять техническое состояние силовых трансформаторов;
- принимать решения о необходимости вывода в ремонт.

На протяжении последних десятилетий вопросы теории и практики оценки технического состояния силовых трансформаторов обсуждаются на отечественных и международных конференциях, симпозиумах и семинарах, сессиях и в материалах СИГРЭ, МЭК, а также на заседаниях научно-технического совета РАО «ЕЭС России» и технических совещаниях различных организаций.

Значительный вклад в теорию и практику оценки технического состояния силовых трансформаторов внесли ВНИИЭ, ОРГРЭС, НИЦ «ЗТЗ Сервис», ВЭИ, МЭИ (ТУ), ИГЭУ, ХК «Электрозавод», Московский завод «Изолятор».

В настоящее время специалисты [3, 4, 8] отмечают следующие особенности технического состояния и эксплуатации силовых трансформаторов:

- старение парка,
- необходимость обеспечения надежности работы трансформаторов, эксплуатирующихся сверх установленного срока службы,
- необходимость принятия обоснованных решений о возможности и целесообразности дальнейшей эксплуатации или необходимости вывода из работы трансформаторов,
- необходимость анализа повреждаемости,
- необходимость обобщения опыта обследования технического состояния силовых трансформаторов,
- необходимость анализа применения действующих нормативно-технических документов, рекомендаций СИГРЭ и МЭК.

Новым направлением в развитии системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) является разработка подходов, основанных на наблюдении за реальными изменениями технического состояния оборудования в процессе эксплуатации. Поэтому важнейшей задачей эксплуатации электроэнергетических систем является переход от системы предупредительно-плановых ремонтов к ремонту на основе использования результатов. Это повысит надежность работы оборудования, позволит эффективнее управлять процессом ТОиР, а также снизит эксплуатационные издержки энергокомпаний.

В связи с этим особую важность приобретает задача оценки параметров электрооборудования (как существующего, так и вновь вводимого). Для эффективного использования системы диагностики силовых трансформаторов необходимо провести большую подготовительную работу – определить перечень диагностируемого оборудования, контролируемые параметры и используемые средства диагностики в зависимости от критичности состояния оборудования, подготовить квалифицированный персонал. После этого может быть принято решение о внедрении системы диагностического мониторинга трансформаторного оборудования с его технико-экономическим обоснованием.

Выводы

1. Работа по исследованию проблем надежности работы силовых трансформаторов имеет важное народнохозяйственное значение, т. к. она направлена на повышение надежности работы парка силовых трансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и подстанциях электрических сетей Российской Федерации.

2. Для обеспечения оценки предельного технического состояния силовых трансформаторов с длительными сроками эксплуатации, обоснования продления срока их эксплуатации, обеспечения надежности работы существует необходимость проведения значительного комплекса исследований и разработок новых методов и критериев, совершенствования существующих и применяемых.

3. Развитие и повышение эффективности системы оценки технического состояния силовых трансформаторов, позволяет обеспечить:

- комплексный подход к оценке технического состояния,
- определить предельное состояние силовых трансформаторов с длительными сроками эксплуатации для принятия решений по возможности их дальнейшей эксплуатации или необходимости и целесообразности вывода из работы,
- повысить надежность эксплуатации.

4. Анализ опыта эксплуатации и повреждаемости силовых трансформаторов и автотрансформаторов (си-

ловых трансформаторов), эксплуатируемых на электростанциях и подстанциях, показывает, что для получения практических результатов необходимо провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований, а также разработать методы и критерии.

Литература

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Изд-во Стандартов, 1986.
2. ГОСТ 11677-65. Трансформаторы (автотрансформаторы) силовые. Общие технические требования. М.: Изд-во. Стандартов, 1971.
3. Макаревич Л.В., Шифрин Л.Н., Алпатов М.Е. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов больших мощностей // Изв. Акад. наук. Энергетика. 2008. № 1. С. 45-69.
4. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: НЦ Энас, 2002. 216 с.
5. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения: РД 153-34.346.34-00. М.: РАО «ЕЭС России», 2000. 15 с.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: СПО ОРГРЭС, 2003. 250 с.
7. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.4551.300-97. М.: Изд-во ЭНАС, 1998. 256 с.
8. Ванин Б.В., Львов Ю.Н., Львов М.Ю., Неклепаев Б.Н., Антипов К.М., Сурба А.С., Чичинский М.И. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации // Электрические станции. 2001. № 9. С. 53-58.
9. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / под ред. Ф.Л. Когана. М.: АО «Фирма ОРГРЭС», 1998. 493 с.
10. Силовые трансформаторы: справ. книга / под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. 618 с.

References

1. GOST 11677-85. Power transformers. General specifications. M.: Izd. Standartov, 1986.
2. GOST 11677-65. Power transformers (autotransformers). General technical requirements. M.: Izd. Standartov, 1971.
3. Makarevich L.V., Shifrin L.N., Alpatov M.E. Current trends in creation and diagnostics of power transformers of big capacities. Izvestiya Akademii Nauk. Energetika, 2008, № 1.
4. Alekseev B.A. Control of a condition (diagnostics) of large power transformers. M.: Izd-vo NC Enas, 2002.
5. The provision on the expert monitoring system and estimates of a condition and service conditions of the power transformers, shunting reactors, measuring transformers of current and voltage. RD 153-34.346.34-00. M.: RAO «EES Rossii», 2000.
6. Rules of technical operation of power plants and networks of the Russian Federation. M.: SPO ORGRES, 2003.
7. Volume and norms of tests of electric equipment. RD 34.4551.300-97. M.: Izd-vo ENAS, 1998.
8. Vanin B.V., Lvov Yu.N., Lvov M.Yu., Neklepaev B.N., Antipov K.M., Surba A.S., Chichinskiy M.I. Volume and norms of tests of electric equipment Elektricheskiye stancii, 2001, №9.
9. The collection of methodical grants on control of a condition of electric equipment. Pod red. F.L. Kogana. M.: AO «Firma ORGRES», 1998.
10. Power transformers. Reference book. Pod red. S.D. Lizunova, A.K. Lohanina. M.: Energoizdat, 2004