

водонагреватель поможет нам получить нужную нам температуру. На приведенной выше схеме (рис. 2) показана последовательность подключения повторного нагрева, которая позволяет использовать любой вид топлива в случае, если необходимое тепло не достигается за счет солнечной энергии.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Солнечный коллектор с полезной площадью 4,5 (2,25) м² летом будет производить 417 (208) л горячей воды в день при температуре 60 °С в июле, что составляет 5,3 (2,65) кг, что сэкономит 6,8 (3,4) м³ природного газа в сутки и таким образом 24,09 (12,05) кВт · ч электроэнергии в день.

2. Солнечный коллектор с полезной площадью 4,5 (2,25) м² зимой будет производить 120 (60) л горячей воды в сутки при температуре 60 °С в декабре, что составляет 1,54 (0,77) кг, что сэкономит 1,97 (0,98) м³ природного газа в сутки и таким образом 7 (3,5) кВт · ч электроэнергии в день.

3. Предлагается система горячего водоснабжения на основе солнечного коллектора.

Литература

1. Государственная программа по энергосбережению на 2018–2024 годы. – Ашхабат, 2018.
2. Национальная стратегия по развитию возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года. – Ашхабат, 2020.
3. Джумаев, А. Основы энергосбережения / А. Джумаев, Х. Солтанов. – Ашхабат : Наука, 2018.
4. ВСН52-86. Ведомственные строительные нормы. Установки солнечного горячего водоснабжения, нормы проектирования. – М., 1988.
5. Расчет системы теплоснабжения с использованием солнечных тепловых коллекторов : метод. указания к выполнению расчет.-граф. работы для студентов всех форм обучения специальности «Энергетические установки, электростанции на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии». – Екатеринбург, 2015.
6. Каталог отопительной системы 2019 г. – Режим доступа: www.buderus.ru.
7. Расчет отопления для теплицы. – Режим доступа: www.fermersha.ru.

УДК 621.314.21

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Т. К. Жабборов, И. К. Исмоилов

Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан

Проведен анализ научных публикаций, посвященных проблеме повышения надежности работы силовых высоковольтных трансформаторов при комплексном подходе к оценке их надежности. Проведен анализ проблем эксплуатации существующего парка силовых высоковольтных трансформаторов. Анализируются существующие нормативные материалы по оценке технического состояния трансформаторов, факторы, приводящие к повреждениям и выходу из строя силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации. Развитие методов контроля технического состояния силовых высоковольтных трансформаторов, а также определение границ критериев для принятия решений по дальнейшей их эксплуатации имеет важное значение по повышению надежности работы парка силовых трансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и подстанциях электрических сетей Узбекистана. Обосновывается необходимость проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований с разработкой соответствующих методов и критериев для Республики Узбекистан, опираясь на лучший зарубежный опыт.

По современным требованиям надежность и бесперебойность работы электрических сетей, электростанций и энергетической системы в основном зависят от надежности работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов, так как они составляют значительную часть электростанций и электрических сетей. Для развития экономики в Республике Узбекистан и ее энергетики в настоящем и будущем необходима эксплуатация большого числа существующих силовых трансформаторов с значительными сроками службы. Как показывает анализ данных, у работающих трансформаторов срок службы превышает нормативный срок в 1,5–2 раза. Учитывая эти условия, необходимо совершенствовать системы сервисного обслуживания, проводить диагностирование трансформаторов с большим сроком службы и мероприятия для поддержания их работоспособности, увеличению их срока службы, что скажется на надежности электроснабжения в целом.

Как указано в источниках [1], [2], необходимые данные для решения задач стратегического планирования могут быть получены на основании рационального, своевременного, правильного диагностирования парка работающих трансформаторов с учетом имеющегося опыта их эксплуатации. Продление ресурса работы конкретного силового трансформатора осуществляется на основании проведения комплексного обследования. Это является, как известно, трудоемкой, наукоемкой и дорогостоящей процедурой, проведение которой связано с выполнением диагностических операций в соответствии с требованиями отраслевых документов. При планировании целей стратегической задачи не обязательно знать с абсолютной точностью все характеристики каждого трансформатора. Для определения остаточного ресурса вполне достаточно усредненных данных о надежности определенной совокупности трансформаторов на перспективу до 12 лет. Поэтому в работах [1], [2], [5], [6] указаны номенклатура и методология получения диагностических показателей, регламентируемых нормативными документами, но недостаточных для корректного определения складского ресурса силовых трансформаторов.

Существующий парк силовых высоковольтных трансформаторов с большим сроком службы приводит к противоречивым результатам при определении остаточного ресурса. На основании только действующих нормативных документов невозможно получить адекватную достоверную информацию о фактическом состоянии трансформаторов с большим сроком службы.

В настоящее время, несмотря на то, что накоплен достаточный научный и практический опыт оценки и прогнозирования ресурса силовых трансформаторов, пока еще не существует нормативного документа, который бы регламентировал процедуру продления срока службы ресурса силовых высоковольтных 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. Во время эксплуатации силовых трансформаторов обязательно требуется проводить диагностирование и обслуживание с целью безопасной и безотказной работы на протяжении всего рабочего цикла трансформатора. Проводимое диагностирование и обслуживание должны показывать процесс старения силовых трансформаторов для всего времени эксплуатации. Обнаружение дефектов в начале диагностирования позволяет поддерживать надежную работу трансформаторов, помогает определить «жизненный цикл», что облегчает планирование их замены. Планирование эффективной программы диагностических испытаний позволяет снизить вероятность образования дефектов, уменьшить выход из строя силовых трансформаторов.

Таблица 1

**Силовые трансформаторы Ферганской энергосистемы Узбекистана
(по данным Ферганского предприятия электрических сетей),
отработавшие нормативный срок эксплуатации**

Тип трансформаторов	Итого трансформаторов	Энергетические предприятия Узбекистана и количество трансформаторов		
		Фергана ТПЭС	Андижан ТПЭС	Наманган ТПЭС
1. Трансформаторы напряжением 110 кВ	252	57	75	120
	100 %	22,61 %	29,76 %	47,61 %
2. Трансформаторы напряжением 220 кВ	267	62	80	123
	100 %	23,22 %	29,96 %	46,06 %
3. Парк блочных трансформаторов напряжением 110–220 кВ	14	7	3	4
	100 %	50 %	21,43 %	28,57 %
4. Парк силовых трансформаторов предприятий межсистемных сетей (НЭС «Кыргызэнерго»)	6	1	3	2
	100 %	16,67 %	50 %	33,3 %

В эксплуатации на предприятиях энергетики Узбекистана находятся трансформаторы, изготовленные в соответствии с ГОСТ 11677–65, имеющие недостаточную электродинамическую стойкость к возросшим уровням токов короткого замыкания в энергосистемах. В статье [3] приведена удельная повреждаемость трансформаторов, разработанных до 70-х гг. прошлого столетия, которая превышает 1 % в год, у новых она составляет около 0,2 %. Анализ работы и накопленный опыт показывают, что основные повреждения силовых трансформаторов в эксплуатации возникают в следующих узлах: обмотки, высоковольтные вводы, устройства РПН. Причинами указанных повреждений являются: развитие дефектов под влиянием эксплуатационных факторов; ошибочные или недостаточные действия при монтаже, ремонте и эксплуатации.

Изучая литературу [4]–[6], можно определить данные об удельной повреждаемости силовых трансформаторов за рубежом. В разных странах существуют различные решения и подходы к анализу повреждаемости, а также по-разному подходят к формированию статистических данных, что не позволяет проводить правильные сравнения. В публикациях [4]–[6] приведены данные, что в развитых странах удельная повреждаемость силовых трансформаторов оценивается не более 1,5–2 % в год. Вопросами анализа повреждаемости силовых трансформаторов в бывшем СССР и в России системно занимались многочисленные организации (табл. 2).

Таблица 2

Организации, занимающиеся диагностированием силовых трансформаторов

Страна, организация	Проводимые мероприятия
В бывшем СССР и в России до 2000 г. АО «ВНИИЭ»	Анализ повреждаемости силовых трансформаторов с оценкой общей удельной повреждаемости за различные периоды, с описанием причин повреждений и разработкой мероприятий для повышения их надежности

Окончание табл. 2

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

По данным [6], продолжая анализ российского опыта, можно отметить, что благодаря достаточно высокой эффективности системы диагностического и ремонтного обслуживания силового трансформаторного оборудования в 90-х гг. прошлого столетия в отношении силовых трансформаторов начала реализовываться концепция перехода от нормативно-календарного планирования ремонтов к проведению «по фактическому состоянию» (по результатам технического диагностирования). В соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ) [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 контролируемых 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» [7]. В шестом издании [7] РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» (1998 г.) [10] для силовых трансформаторов существенно расширен перечень контролируемых параметров. Контролируемые параметры дополнены новыми: хроматографический анализ газов, растворенных в масле; содержание фурановых соединений в масле; степень полимеризации; содержание антиокислительной присадки; телевизионный контроль.

Вопросы теории и практики оценки технического состояния силовых трансформаторов обсуждаются на отечественных и международных конференциях, симпозиумах и семинарах, сессиях и в материалах на протяжении последних десятилетий в СИГРЭ, МЭК. 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».

Для развития системы технического обслуживания и ремонта (СТОиР) является принятие новых направлений и разработок, основанных на наблюдении за реальными изменениями технического состояния оборудования во время эксплуатации. Поэтому важнейшей задачей эксплуатации электроэнергетических систем является переход от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонту на основе результатов комплексного технического диагностирования. Как показывает опыт, для эффективного использования системы диагностирования силовых трансформаторов необходимо провести большую подготовительную работу и определить перечень диагностируемого оборудования, контролируемые параметры, а также используемые средства диагностирования в зависимости от критического состояния оборудования, подготовить квалифицированный персонал. После этого может быть принято решение о внедрении системы диагностического мониторинга трансформаторного оборудования с его технико-экономическим обоснованием.

В настоящее время начата работа по разработке методики комплексного технического диагностирования силовых маслонаполненных трансформаторов совместно с научной группой ГГТУ им. П. О. Сухого под руководством д-ра техн. наук, профессора Николая Васильевича Грунтовича [11]–[13]. Целью работы является повышение достоверности при определении дефектов в процессе эксплуатации силовых маслонаполненных трансформаторов за счет контроля и анализа одновременного изменения определенной группы диагностических параметров при комплексном техническом диагностировании. Научная идея заключается в увеличении срока службы, снижении числа внезапных отказов силовых трансформаторов во время эксплуатации на основе разрабатываемой теории вибродиагностирования динамической стойкости обмоток, магнитопровода в диапазоне 50–5000 Гц и повышения качества диагностирования по хроматографии горючих газов за счет применения различных методов анализа горючих газов и увеличения числа диагностических параметров при одновременном измерении их значений.

1. Для повышения надежности всего парка силовых трансформаторов необходимо исследование проблемы надежности работы силовых трансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и подстанциях электрических сетей, так как это имеет важное народнохозяйственное значение для Узбекистана.

2. Необходимо проведение значительного комплекса исследований и разработка новых методов и критериев для оценки предельного технического состояния силовых трансформаторов с длительными сроками эксплуатации, обоснованного продления срока их эксплуатации. Необходима разработка системы технического состояния силовых трансформаторов. Это позволяет: обеспечить комплексный подход к оценке технического состояния; определить предельное состояние силовых трансформаторов с длительным сроком эксплуатации; снизить число внезапных отказов силовых трансформаторов.

3. Для получения практических результатов необходимо провести полный анализ и комплекс теоретических и экспериментальных исследований, а также разработать методы и критерии диагностирования силовых трансформаторов.

Л и т е р а т у р а

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. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов больших мощностей / Л. В. Макаревич, Л. Н. Шифрин, М. Е. Алпатов // Изв. Акад. наук. Энергетика. – 2008. – № 1. – С. 45–69.
4. Алексеев, Б. А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Б. А. Алексеев. – М. : ЭНАС, 2002. – 216 с.
5. РД 153–34.346.34–00. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения. – М. : ЕЭС России, 2000. – 15 с.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М. : СПО ОРГРЭС, 2003. – 250 с.
7. РД34.4551.300–97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М. : ЭНАС, 1998. – 256 с.
8. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации / Б. В. Ванин [и др.] // Электр. станции. – 2001. – № 9. – С. 53–58.
9. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / под ред. Ф. Л. Когана. – М. : Фирма ОРГРЭС, 1998. – 493 с.
10. Силовые трансформаторы : справ. кн. / под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. – М. : Энергоиздат, 2004. – 618 с.
11. Vibration diagnostics of power equipment before commissioning / Mikolay Hruntovich, Deniz Moroz, Alexey Panfilov, Yegor Zhuk, and Ekaterina Mikhailova // E3S Web of Conferences 178, 01031 (2020). – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801031> HSTED-2020
12. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие / Н. В. Грунтович. – Минск : Новое изд. ; М. : ИНФА-М, 2019. – 271 с. : ил. – (Высш. образование: Бакалавриат.)
13. Анализ проблемных вопросов эксплуатации маслонаполненных трансформаторов / Н. В. Грунтович [и др.] // Энергия и Менеджмент. – 2017. – № 3 (96). – С. 2–6.