

Отзыв

официального оппонента Андреева Дмитрия Александровича на диссертацию Мельниковой Ольги Сергеевны «Диагностика главной изоляции силовых маслонаполненных электроэнергетических трансформаторов по статистическому критерию электрической прочности масла», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

На отзыв представлены: диссертация, автореферат и список опубликованных работ соискателя по теме диссертации.

Актуальность темы диссертации

Надежность работы электрических станций и электроэнергетических систем обеспечивается надлежащим уровнем технического состояния эксплуатируемого оборудования. Силовые маслонаполненные трансформаторы относятся к основному электротехническому оборудованию, поэтому диагностированию их технического состояния при эксплуатации уделяют особое внимание.

Значительная доля отказов силовых трансформаторов происходит по причине нарушения целостности главной маслобарьерной изоляции, которая представляет собой чередование каналов масла и барьеров из твёрдых изоляционных материалов и определяет расстояние между обмотками высшего и низшего напряжений.

Расчет маслобарьерной изоляции выполняется из условия отсутствия пробоев первого масляного канала, расположенного вблизи обмотки высшего напряжения. Пробой этого канала сопровождается повреждением барьеров, что в дальнейшем инициирует развитие поверхностных разрядов по твёрдой изоляции, которые в свою очередь приводят к короткому замыканию в трансформаторе и его отключению. По этой причине одним из основных диагностических параметров для оценки технического состояния главной изоляции трансформаторов в эксплуатации в соответствии с нормативными документами принято среднее значение пробивного напряжения трансформаторного масла, определяемое в стандартном маслопробойнике.

Для силовых трансформаторов с ростом их мощности увеличивается объём масла в каналах изоляции. Это приводит к снижению их пробивных

напряжений, что связано со статистической природой развития пробоя в электроизоляционных средах, содержащих различного рода примесей. Следовательно, среднее пробивное напряжение масла является случайной величиной. В результате степень снижения статистических характеристик электрической прочности (СХЭП) масляных каналов будет больше для масел, имеющих повышенный разброс пробивных напряжений.

В нормативных документах России и зарубежных стран установлены нормативные значения пробивных напряжений масла в зависимости от класса напряжений силовых трансформаторов. При этом в них не установлен диагностический параметр, отражающий статистический разброс пробивных напряжений трансформаторного масла; не учитывается влияние особенностей работы жидкой изоляции, а также мощность трансформатора. В настоящее время в эксплуатации находятся силовые трансформаторы, мощность и объем масла которых для заданного класса напряжения изменяется в широких пределах, поэтому полезно определить техническое состояние главной изоляции трансформаторов на основе СХЭП эксплуатационных масел с учётом мощности трансформаторов.

Принимая во внимание вышесказанное, считаю, что выполненное О.С. Мельниковой диссертационное исследование, посвященное диагностике главной изоляции трансформаторов по статистическому критерию электрической прочности масла, представляет собой актуальную задачу, решение которой позволяет повысить эффективность диагностики главной изоляции и своевременно предотвратить развитие дефекта и отказ трансформатора.

Оценка содержания диссертации

Диссертация О.С. Мельниковой состоит из 173 страниц, введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 102 наименований, 51 рисунка, 25 таблиц и 7 приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, приведены научные и практические результаты работы.

В главе 1 по результатам выполненного анализа имеющихся исследований по оценке технического состояния главной изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов выявлены проблемы и направления их решения. Показано, что актуальным является совершенствование методов и технических средств диагностирования главной изоляции с применением

диагностических СХЭП трансформаторного масла на основе результатов его эксплуатационных испытаний. Сформулированы задачи исследования, решение которых позволит разработать методы и алгоритм диагностирования главной изоляции, учитывающие влияние мощности и класса напряжения трансформаторов.

В главе 2 для действующих силовых маслonaполненных трансформаторов приведены сведения, отражающие влияние мощности и класса напряжения трансформаторов на общий объём масла в них. Представлен метод определения пробивной напряжённости электрического поля с учётом влияния объёма масла с применением распределения Гнеденко-Вейбулла. Отражены особенности применения этого метода для случая неоднородного электрического поля. Проведённое в работе сопоставление результатов по предложенному методу с известными экспериментальными данными показало их хорошее соответствие.

В главе 3 с учётом предложенного метода в главе 1 разработаны метод расчёта диагностических СХЭП первого масляного канала главной изоляции трансформатора и алгоритм расчёта на ЭВМ диагностических СХЭП по этому методу. По результатам анализа выполненных расчётов показано, что на изменение СХЭП в зависимости от мощности трансформаторов существенно реагирует отношение параметров распределения Гнеденко-Вейбулла $E_{0,1}/E_{0,n}$, представляющее собой статистический критерий изменчивости электрической прочности исходного трансформаторного масла. Показано изменение этого критерия в зависимости от мощности трансформаторов класса напряжения 110 кВ.

В главе 4 проведён анализ поведения твёрдых частиц примесей в межэлектродном промежутке маслопробойника с трансформаторным маслом после его пробоя. С учётом полученных результатов разработана новая запатентованная испытательная ячейка для маслопробойника с эффективной системой перемешивания масла. Проведённые автором экспериментальные исследования показали повышение эффективности определения пробивных напряжений масла с применением предложенной ячейки по сравнению с традиционной методикой. Разработан метод определения диагностических статистических параметров пробивных напряжений с применением распределения Гнеденко-Вейбулла по результатам эксплуатационных испытаний масла в маслопробойнике, а также алгоритм и программа расчёта на ЭВМ, реализующие предложенный и традиционный методы.

В главе 5 на основе созданной базы данных по результатам эксплуатационных испытаний масла в маслопробойнике для 74 силовых трансформаторов класса 110 кВ с применением разработанных программ получены численные значения и математические выражения для корреляционных связей предложенных и традиционных диагностических СХЭП масла. По результатам выполненного анализа изменения статистических характеристик пробивных напряжений эксплуатационного масла с применением распределения Гнеденко-Вейбулла проведён выбор статистического критерия изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике $K_{иУ} = U_0/U_n$, который предложено использовать в качестве статистической оценки электрической прочности масляных каналов главной изоляции. Разработан алгоритм диагностирования масляных каналов главной изоляции с применением статистического критерия изменчивости пробивного напряжения эксплуатационного масла в маслопробойнике, определены условия, при которых масло удовлетворяет предъявляемым требованиям. Выполненное автором диагностирование главной изоляции действующих трансформаторов показало большую эффективность диагностирования главной изоляции по предложенному алгоритму с применением диагностических статистических параметров по сравнению с традиционным методом.

Диссертация хорошо оформлена и отличается цельностью.

Автореферат и публикации отражают содержание диссертации.

Научная новизна работы подтверждается тем, что:

1. Разработана диагностическая модель главной изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов, позволяющая определять СХЭП масла как диагностические параметры с применением трёхпараметрического распределения Гнеденко-Вейбулла с учётом влияния объёма масла, неоднородности электрического поля, мощности и класса напряжения силовых трансформаторов, а также определять диагностические статистические параметры по малой выборке результатов эксплуатационных испытаний масла в маслопробойнике;

2. Для диагностирования главной изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации предложен статистический критерий изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике $K_{иУ} = U_0/U_n$ и определены условия выбора

его предельных значений с учётом влияния мощности и класса напряжения трансформаторов;

3. Разработан алгоритм диагностирования главной изоляции трансформаторов по статистическому критерию изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике. С применением предложенного алгоритма и результатов эксплуатационных испытаний в маслопробойнике для действующих трансформаторов класса 110 кВ определены предельные значения этого критерия изменчивости;

4. Выполненное диагностирование главной изоляции силовых трансформаторов по предложенному алгоритму и данным эксплуатационных испытаний масла определена степень соответствия изоляции действующих трансформаторов класса 110 кВ различной мощности предъявляемым требованиям по статистическому критерию изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике;

5. Разработана новая запатентованная испытательная ячейка, обеспечивающая повышение эффективности определения диагностических статистических характеристик пробивного напряжения масла в маслопробойнике.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. При разработке диагностической модели главной изоляции трансформаторов использованы существующие базовые физические и математические методы исследования пробоя электроизоляционных жидкостей, статистические модели и методы диагностики внутренней трансформаторной изоляции;

2. На основе разработанной диагностической модели и проведённого вычислительного эксперимента для диагностирования масляных каналов главной изоляции трансформаторов с учётом влияния их мощности предложен критерий изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике, определяемый по результатам его эксплуатационных испытаний;

3. При разработке методов выбора диагностических СХЭП масла с применением трёхпараметрического распределения Гнеденко-Вейбулла масла и алгоритма диагностирования главной изоляции трансформаторов по предложенному статистическому критерию изменчивости пробивного

напряжения масла в маслопробойнике использованы проверенные классические методы теории вероятностей и математической статистики;

4. Для обоснования решения по созданию новой испытательной ячейки для маслопробойника проведён анализ поведения примесных частиц в маслопробойнике после пробоя масла с применением проверенных математических моделей.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечивается тем, что:

1. Выбор и обоснование цели и задач исследования проведены на основе анализа эксплуатационных данных по оценке технического состояния главной изоляции силовых трансформаторов и электрофизических процессов формирования пробоя в масляных каналах этой изоляции с применением проверенных статистических методов и математических моделей;

2. Разработка диагностической модели главной изоляции трансформаторов выполнена с применением базовых апробированных физических методов исследования свойств жидких диэлектриков, методов математического и статистического определения характеристик электрической прочности электроизоляционных масел как диагностических параметров главной изоляции;

3. Проведено сопоставление экспериментальных данных других авторов и полученных в работе с результатами расчётов, приведённых в диссертации с применением результатов эксплуатационных испытаний, показавшее совпадение расчётных и экспериментальных результатов.

Значение результатов исследования для практики

При диагностировании главной изоляции трансформаторов в эксплуатации могут быть использованы следующие разработки автора:

1. Метод и программа расчёта на ЭВМ диагностических СХЭП масляных каналов главной изоляции трансформаторов с учётом влияния их мощности и класса напряжений;

2. Метод и программа расчёта на ЭВМ диагностических статистических характеристик пробивных напряжений трансформаторного масла в маслопробойнике с применением трёхпараметрического распределения

Гнеденко-Вейбулла;

3. Предельные значения статистического критерия изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике для трансформаторов 110 кВ различной мощности;

4. Алгоритм диагностирования главной изоляции трансформаторов с применением статистического критерия изменчивости пробивного напряжения масла в маслопробойнике по результатам его эксплуатационных испытаний;

5. Новая испытательная ячейка, повышающая эффективность определения диагностических характеристик пробивного напряжения масла в маслопробойнике.

Результаты работы внедрены в Главном управлении ОАО «ТГК-2» по Ярославской области, в Филиале «Ивановские ПГУ» ОАО «Интер РАО—Электрогенерация», в учебном процессе ИГЭУ.

Замечания по диссертации

1. В разделе 1.1 работы отмечается, что имеются определённые недоработки при создании изоляционных конструкций при проектировании, а также при эксплуатации трансформаторов. Недоработки в части эксплуатации и пути их устранения понятны. Необходимо пояснить какие все-таки недоработки имеются при проектировании маслобарьерной изоляции? Могут ли они быть устранены на основании результатов проведенного автором исследования, и каким образом?

2. В работе упоминается, что исследование ведется, в том числе, и для автотрансформаторов, однако, их эксплуатационные и паспортные данные нигде не приводятся и не упоминаются. Так, например, в разделе 2.1 при исследовании количества масла, в табл. 2.2 приводятся данные только для трансформаторов. Информация по автотрансформаторам отсутствует. При этом в выводе 1 в разделе 2.4 утверждается, что был исследован объем масла не только в трансформаторах, но и автотрансформаторах. Необходимо пояснить данное разночтение и обосновать возможность применения результатов исследования для автотрансформаторов.

Так как основополагающие методики, используемые в исследовании справедливы в целом для маслонаполненного оборудования, сопутствующим является следующий вопрос: применимы ли результаты исследования к другому маслонаполненному оборудованию (реакторы и т.п.)?

3. В работе много внимания уделено анализу зависимости объема масла от мощности трансформатора. Объем масла, как и номинальная мощность, указывается в паспорте трансформатора. Поэтому не совсем понятно, для чего искать эту взаимосвязь, тем более, если объем масла в канале (основной параметр в модели) определяется мощностью и напряжением трансформатора. Кроме того, вместо проведения сложного анализа, возможно, для эксплуатирующей организации более целесообразным является запросить размеры масляного канала (объем масла) у производителя оборудования для уже эксплуатируемых трансформаторов и обязать предоставлять эти данные изначально для новых трансформаторов. Размеры масляного канала должны быть известны производителю и проектировщику трансформатора. Необходимо пояснить.

4. Так как существует множество разных подходов к оценке технического состояния изоляции, основанных на иных принципах (химический анализ, оптический анализ, температурное старение и т.п.) необходимо более четко сформулировать, в чем именно состоит диагностическая ценность предлагаемой методики по сравнению с другими? Дополняет ли она их? Должна ли применяться взамен?

5. В работе не отражено как следует использовать методику в рамках технического обслуживания и ремонта оборудования. Как часто нужно производить диагностику новым методом (чаще/реже, чем стандартным методом)? Как это влияет на межремонтный период, на объем ремонта? Если результаты диагностирования признаны неудовлетворительными, то, как быстро нужно вывести трансформатор в ремонт? Есть ли какая-либо градация технических состояний изоляции и трансформатора в целом в зависимости результатов диагностирования?

6. В работе отсутствует расчет экономического эффекта от внедрения методики при эксплуатации.

Вышеотмеченные замечания не снижают ценности полученных в работе результатов.

Заключение по диссертации

Диссертация Мельниковой Ольги Сергеевны «Диагностика главной изоляции силовых маслонаполненных электроэнергетических трансформаторов по статистическому критерию электрической прочности масла» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые

научно обоснованные решения, обеспечивающие повышение эффективности диагностирования главной изоляции действующих силовых трансформаторов, что имеет существенное значение для обеспечения бесперебойного функционирования электроэнергетических систем.

Диссертация соответствует формуле и области исследования паспорта специальности 05.14.02—«Электрические станции и электроэнергетические системы» по п. 5, 6 и 13.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мельникова Ольга Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 —«Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент

Кандидат технических наук,

Главный технолог отдела электротехнического и систем управления

ОАО «Зарубежэнергопроект»

153034, г. Иваново, ул. Смирнова, 105Б

Тел. (4932) 325468, доб. 21-34,

e-mail: andreevda@gmail.com



Андреев Дмитрий Александрович

Подпись Д.А. Андреева заверяю:

Начальник отдела кадров

25 ноября 2015 г.



Т.В. Балаева