

Information about the authors

1. **Mardaryev Sergey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, e-mail: s-mard@mail.ru.

2. **Mishin Pyotr Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, e-mail: mail@chst.edu.ru.

УДК 621.314.222

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Л.М. Рыбаков¹⁾, В.В. Белов²⁾, Н.Л. Макарова¹⁾, А.О. Захватаева¹⁾

¹⁾Марийский государственный университет г. Йошкар-Ола, Россия,

²⁾Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы и средства диагностики силовых трансформаторов. На основе статистической обработки результатов исследований авторы доказывают, что наиболее распространенной причиной отказа трансформаторов является повреждение их обмоток с возможностью регулирования напряжения под нагрузкой. Особо отмечается необходимость в перспективе уделить внимание совершенствованию имеющихся и созданию новых методов контроля оборудования силовых трансформаторов.

На основе анализа результатов исследований 338 отказов и технических нарушений авторы выявили наиболее тяжелые последствия при развитии таких дефектов, как: снижение электрической прочности масляного канала высоковольтных герметичных вводов из-за отложения осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности внутренней изоляции, снижение электрической прочности бумажно-масляной изоляции высоковольтных негерметичных вводов из-за увлажнения и загрязнения, увлажнение, загрязнение и износ (старение) изоляции обмоток и другие.

Также в статье отмечается, что внутренние короткие замыкания в трансформаторе вызваны повреждениями РПН, высоковольтных вводов и обмоток, которые составляют значительную долю в повреждениях трансформаторов. Авторы считают, что традиционные методы, которые требуют отключения трансформатора на период измерений, достаточно трудоемки и малоэффективны. На основе априорной информации и проведенных исследований мы пришли к выводу, что при оценке технического состояния узлов трансформаторов рекомендуется разработать и внедрить средства диагностирования для выявления перечисленных дефектов в процессе эксплуатации. Заводам-изготовителям силовых трансформаторов для диагностирования основных элементов силовых трансформаторов необходимо комплектовать их встроенными средствами контроля, а также устройствами для регенерации масла в процессе эксплуатации трансформатора.

Ключевые слова: силовой трансформатор, обмотка, отказ, методы, средства диагностики, срок службы.

Введение. Следует отметить, что ввиду сложившихся экономических условий в России в ближайшие годы по экономическим и техническим причинам вероятность существенного обновления парка силовых трансформаторов невелика. В системе распределения электрической энергии в настоящее время эксплуатируется большое количество силовых трансформаторов, почти отработавших свой нормативный срок службы. Принимая во внимание такое состояние энергетической системы электроснабжения, полагаем, что на текущий момент все более актуальным является решение проблемы продления сроков их службы. Необходимо продолжить оценку возможности дальнейшей эксплуатации такого электрооборудования.

В последние годы в энергетике наметилась тенденция к последовательному переходу от системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) к ремонту электрооборудования: сердечника, обмоток, элементов ввода, устройств переключения ответвлений и др.

Материалы и методы. Для оценки состояния элементов трансформатора широкое применение находят такие обследования, как инфракрасное, акустическое, вибрационное, однако на данный момент нормативы для этих видов обследований находятся на стадии разработки.

Для анализа надежности работы трансформаторов необходимо иметь представительную выборку эксплуатационных данных для однотипных трансформаторов в следующем виде:

1. Распределение повреждений по основным элементам трансформаторов разных классов напряжений.
2. Характеристики уровня повреждений.
3. Частота повреждений в зависимости от срока службы трансформаторов.
4. Причины и последствия повреждений.

5. Данные об отклонениях от требований нормативно-технических документов, инструкций заводоизготовителей, противоаварийных и эксплуатационных циркуляров [3].

Результаты исследований и их обсуждение. На основе исследований авторами были проанализированы 338 отказов и технических нарушений в силовых трансформаторах.

В таблице представлено распределение повреждений по элементам и причинам для трансформаторов 110 кВ.

Таблица – Распределение повреждений по элементам и причинам в силовых трансформаторах 110 кВ

Элементы и причины	Класс напряжения, кВ	
	110	
	Число	%
Обмотки	43	12,7
Магнитопровод	1	0,3
Система охлаждения	16	5
РПН	61	18
Вводы	77	23
Течь масла	35	10
Упуск масла	75	22
Вандализм	30	9
Итого	338	100

Анализ данных таблицы показывает, что наибольшую повреждаемость имеют высоковольтные вводы – 23 %, устройства РПН – 18 %, обмотки – 12,7 %, упуск трансформаторного масла – 22 %, течь масла – 10 %, система охлаждения – 5 %.

Наиболее тяжелыми являются последствия при развитии следующих дефектов:

- снижение электрической прочности масляного канала высоковольтных герметичных вводов из-за отложения осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности внутренней изоляции;
- снижение электрической прочности бумажно-масляной изоляции высоковольтных негерметичных вводов из-за увлажнения и загрязнения;
- увлажнение, загрязнение и износ (старение) изоляции обмоток;
- выгорание витковой изоляции и витков обмоток из-за длительного не отключения сквозного тока КЗ на стороне низшего напряжения трансформатора;
- ошибки монтажа, ремонта и эксплуатации [1].

Большая часть указанных дефектов могла быть выявлена при применении современных методов и средств технической диагностики: контроля фурановых соединений в масле; измерения степени полимеризации; хроматографического анализа газов, растворенных в масле; тепловизионного контроля; измерения сопротивления короткого замыкания. В настоящее время разрабатываются методы по дальнейшему расширению данного перечня, в частности, необходимо внедрять следующие: контроль уровня частичных разрядов, вибрационный контроль состояния прессовки обмоток, ИК-спектрометрический анализ, контроль мутности масла и поверхности его натяжения.

Один из наиболее объективных показателей, позволяющих оценить информативность используемого признака, диагностическая ценность. При наличии статистических данных этот показатель представляет собой численную оценку информации о состоянии оборудования [2, 4].

Следует отметить, что при анализе диагностической ценности того или иного признака следует обратить внимание на следующие аспекты:

- является ли контролируемый показатель функцией физико-химического состояния изоляции или он отслеживает сопутствующие изменения при развитии процессов, приводящих к повреждениям;
- наличие монотонности изменения значения показателя при развитии характеризующего им процесса;
- наличие значимых различий между значениями измеряемого показателя и степенью развития процесса.

Внутренние короткие замыкания в трансформаторе вызваны повреждениями РПН, высоковольтных вводов и обмоток, которые составляют значительную их долю. Традиционные методы контроля, требующие отключения трансформатора в период измерений, достаточно трудоемки и малоэффективны.

Для оценки технического состояния узлов трансформаторов, например: деформации обмоток, потери механической прочности витковой изоляции, распрессовки обмоток – необходимо разработать и внедрить средства диагностирования для выявления перечисленных дефектов в процессе эксплуатации.

Необходимо рекомендовать заводам-изготовителям силовых трансформаторов комплектовать их встроенными средствами контроля для диагностирования основных элементов.

Выводы

Основной задачей диагностирования является объективная оценка состояния силовых трансформаторов

с длительным сроком службы, выявление дефектов на ранней стадии их развития, а также разработка рекомендаций по устранению дефектов, проведению ремонтов и дальнейшей безаварийной их эксплуатации.

Литература

1. Объем и нормы испытания электрооборудования / под общ. ред. Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. – 6-е изд., с изм. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2004. – 256 с.
2. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110 - 500 кВ в эксплуатации / Б. В. Ванин [и др.] // Электрические станции. – 2001. – № 9. – С. 53-58.
3. РД 153-34.3-46.304-00. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения. – М.: СПО ОРГРЭС, 2000. – 35 с.
4. Рыбаков, Л. М. Оценка состояния силовых трансформаторов 110 кВ на основе их диагностирования по данным длительной эксплуатации / Л. М. Рыбаков, В. В. Белов, Н. Л. Макарова // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 39. – С. 31-37.

Сведения об авторах

1. **Рыбаков Леонид Максимович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения и технической диагностики, Марийский государственный университет, 424000, Республика Марий Эл г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1, e-mail: diagnoz@marsu.ru, тел. 8-953-015-64-12;

2. **Белов Валерий Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: belovdtn@gmail.com, тел 8-953-015-64-12;

3. **Макарова Надежда Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и технической диагностики, Марийский государственный университет, 424000, Республика Марий Эл г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1, e-mail: diagnoz@marsu.ru;

4. **Захватаева Алена Олеговна**, преподаватель кафедры электроснабжения и технической диагностики, Марийский государственный университет, 424000, Республика Марий Эл г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1, e-mail: diagnoz@marsu.ru.

METHODS AND TECHNIQUES FOR THE CONDITION ASSESSMENT OF POWER TRANSFORMERS IN OPERATION

L.M. Rybakov¹, V.V. Belov², N.L. Makarova¹, A.O. Sahvatayeva¹

¹Mari State University Y-Ola, Russian Federation

²Chuvash State Agricultural Academy
428003, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. *In the article modern methods and diagnostic aids of power transformers are considered. On the basis of statistical processing of results of researches the authors prove that damage of their windings with a possibility of regulation of tension under loading is the most common cause of failure of transformers. Need in the long term to pay attention to improvement available and to creation of new control methods of the equipment of power transformers is especially noted.*

On the basis of the analysis of results of researches of 338 refusals and technical violations authors have revealed the most serious consequences at development of such defects as: decrease in electric durability of the oil channel of high-voltage tight inputs because of adjournment of a deposit on the internal surface of porcelain and on the surfaces of internal isolation, decrease in electric durability of paper-oil isolation of high-voltage untight inputs because of moistening and pollution, moistening, pollution and wear (aging) of isolation of windings and others.

Also in the article it is noted that internal short circuits in the transformer are caused by damages of RPN, high-voltage inputs and windings which make a considerable share in damages of transformers. The authors consider that traditional methods which demand shutdown of the transformer for measurements are rather labor-consuming and ineffective. On the basis of aprioristic information and the conducted researches we have come to a conclusion that at assessment of technical condition of knots of transformers it is recommended to develop and introduce diagnostic devices for identification of the listed defects in use. Manufacturers of power transformers for diagnosing of basic elements of power transformers need to complete them with the built-in control devices and also devices for oil regeneration in use of the transformer.

Keywords: *power transformer, winding, failure, methods, means of diagnostics, service life.*

References

1. Volume and norms of testing of electrical equipment. The edition of Alekseev B. A., F. L. Kogan, L. G. Mamikonians. - 6th ed. with changes and additions – M.: Publishing House of the SC ENAS, 2004. - 256 p.
2. On damages of power transformers with voltage of 110-500 kV in operation / B.V.Vanin [etc.] // Power stations. - 2001. - № 9. - Pp. 53-58.
3. RD 153-34.3-46.304-00. Regulation on the expert system of monitoring and evaluation of the state and operating conditions of power transformers, shunt reactors, measuring current and voltage transformers. – M.: SPO ORGRES. - 2000.
4. Rybakov L. M.. Condition assessment of power transformers of 110 kV on the basis of their diagnosis, according to long-term operation / L. M. Rybakov, V.V. Belov, N. L. Makarova, S. A. Ovchukova, N. T. Kirillov, A. O. Savateeva // proceedings of the International Academy of Agrarian Education. – SPb., 2018. No.39. - Pp. 31-37

Information about the authors

1. **Rybakov Leonid Maksimovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Technical Diagnostics, Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia). (e-mail): diagnoz@marsu.ru, mob. tel: 8-953-015-64-12;
2. **Belov Valery Vasilyevich**, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production; Chuvash State Agricultural Academy. 428000, Cheboksary, 29, K. Marx Str., email: belovdtn@gmail.com, mob. tel: 8-953-015-64-12;
3. **Makarova Nadezhda Leonidovna**, Candidate of Technical Science, Associate Professor; Chair of Power Supply and Technical Diagnostics, Mari State University, Yoshkar-Ola (e-mail): diagnoz@marsu.ru;
4. **Savataeva Alena Olegovna**, Teacher of Department of Electrical and Technical Diagnostics of the Mari State University Yoshkar-Ola, Russia. e-mail: diagnoz@marsu.ru.

УДК 631.439

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛАГОПРОНИЦАЕМОСТИ МЕРЗЛЫХ ПОЧВ

Смирнов П.А., Федоров Д.Ю., Прокопьева Е.В.

Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. Исследования направлены на изучение возможности внесения жидких органических удобрений (жидкой фракции навоза, сжиженного бесподстилочного навоза) в почву разливом в зимнее время. В работе представлены результаты исследований по изучению изменения влажности почвы на площади экспериментального участка 1,6 га, разбитого на 36 контрольных точек. На 12 из них проведена зяблевая вспашка без предплужника агрегатом ДТ-75М+ПН 4-35 на глубину 24 см. На 4-х точках проведено дополнительное поверхностное выравнивание глыбистой зяби экспериментальной игольчатой бороной. Остальные 24 точки расположены на стерне, на 9-ти из них проведено лушение двукратным перекрестным проходом экспериментальной игольчатой бороны. Пробы почвы взяты с помощью специального винтового бура с глубины 0, 10, 20, 30, 40, 50, и 60 см с каждой точки. Периодичность измерения влажности – через каждые 15 – 20 дней. Влажность почвы определялась известным весовым методом. В опыте одновременно фиксировались толщина снежного покрова и глубина промерзания почвы. Неоднократное потепление до +2 – 4°С увеличивали абсолютную влажность лушеного участка стерни до 115–120 % на глубине 1–10 см, когда на не лушеном участке влажность увеличилась всего до 85–90 % на поверхности поля. В конце января температура почвы стабилизировалась на отметках ниже 0°С, и до середины марта существенных изменений влажности в рассматриваемой толще почвы не наблюдалось, за исключением незначительного увеличения влажности фронта замерзания за счет капиллярного притока влаги с нижних слоев. По полученному фактическому материалу можно сделать выводы о том, что влаги не проникает в мерзлую почву и не происходит ее накопления. Основное увеличение влажности почвы возможно только после оттаивания. Также в ходе эксперимента было выявлено, что существенной разницы в накоплении снега на лушеном и не лушеном участках не установлено. Первоначально представленная гипотеза подтверждается фотоматериалами, сделанными в зимний период 2014-15 и 2017-18 гг.

Ключевые слова: жидкие органические удобрения, жидкая фракция навоза, сжиженный бесподстилочный навоз, влагопроницаемость мерзлой почвы, толщина снежного покрова, глубина промерзания почвы.

С целью изучения влияния способов обработки на накопление влаги в осенне-зимне-весенний период в почве был проведен следующий эксперимент. 18–19 сентября 2003 г. на территории ЗАО «Прогресс»