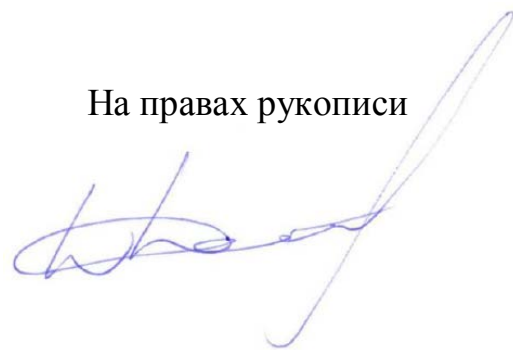


На правах рукописи



Иванов Денис Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
КОНЦЕВЫХ МУФТ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ И
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ИХ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» (ТулГУ).

Научный руководитель Степанов Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Калинин Вячеслав Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры "Электроэнергетика", проректор ФГБОУ ВПО "ТГТУ"

Фомин Андрей Васильевич, кандидат технических наук, технический руководитель проектов ЗАО «Нидек АСИ ВЭИ»

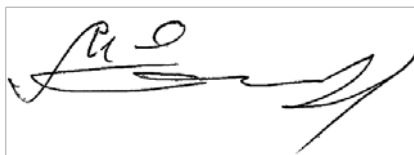
Ведущее предприятие: ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Защита диссертации состоится 30 января 2015 г. в 12:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.12 при Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, аудитория 9-101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тульского государственного университета и на сайте <http://tsu.tula.ru/>.

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь
диссертационного
совета
Д 212.271.12,
д.т.н., профессор



Михаил Юрьевич. Елагин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Анализ старения электрических сетей показывает, что уровень износа основных фондов Федеральной сетевой компании в настоящий момент приближается к 70%. Нормативный срок выработало 52% оборудования, а 7,4% - дважды отработало этот срок. Из них износ кабельных линий составляет 43%. Выход из строя кабельных линий из-за возгорания кабельных муфт приближается к 68%. А 44% поломок приходится на концевые муфты кабельных линий. Выходы из строя концевых муфт кабельных линий относятся и к наиболее опасным и приводят к тяжелым последствиям таким, как отключение от электроэнергии целых заводов, жилых районов и т.д..

Вопросу исследования методов и средств мониторинга и диагностики функционирования концевых муфт кабельных линий и электротехнических устройств контроля их технического состояния посвящены исследования Фейгин Л.З.; Левинсона С.В.; Михалева С.И.; Готовченкова А.Д.; Пиковского И.М.; Огарь Ю.С.; Озерных И.Л.; Самойлова В.И..

Однако существующие методы и средства диагностики работы кабельной линии не позволяют непрерывно, с требуемой точностью оценить техническое состояние концевых муфт кабельных линий, а электротехнические устройства контроля диагностических параметров технического состояния концевых муфт кабельных линий такие как температура, сопротивление изоляции и толщина изоляции концевых муфт, не рассматривались в комплексе. Это так же снижает эффективность методов прогнозирования технического состояния концевых муфт кабельных линий

Поэтому, комплексный учет температуры концевой муфты, сопротивления, толщины изоляции, переходных электромагнитных и электромеханических процессов, закономерностей формирования технического состояния концевых муфт под нагрузкой и прогнозирование их электротехнических характеристик в контрольных точках, является актуальной научной задачей.

Цель выполнения диссертационной работы: Повышение эффективности функционирования концевых муфт кабельных линий и электротехнических устройств контроля их технического состояния путем обоснования рациональных параметров устройств диагностики, учитывающих в комплексе характеристики температуры, сопротивления и толщины изоляции.

Задачи исследования:

1) анализ технических средств функциональной диагностики концевых муфт кабельных линий, методов их расчета параметров и прогнозирования технического состояния концевых муфт;

2) разработка математических моделей совмещения устройств функциональной диагностики концевых муфт кабельных линий под нагрузкой в точках измерений на основной схеме замещения, выполненных в различных конструктивных исполнениях, учитывающих в комплексе характеристики

температуры, сопротивления, толщины изоляции и переходных электромагнитных и электромеханических процессов концевых муфт кабельных линий;

3) установление закономерности формирования динамики температуры, сопротивления, толщины изоляции и переходных электромагнитных и электромеханических процессов концевых муфт кабельных линий;

4) исследование математической модели устройства функциональной диагностики концевых муфт кабельных линий под нагрузкой, для определения их рациональных параметров, условий реализуемости и прогнозирования технического состояния концевых муфт кабельных линий;

5) провести численные и экспериментальные исследования для определения адекватности теоретических и экспериментальных исследований

Идея работы заключается в обеспечении требуемого уровня совместимости электротехнических устройств функциональной диагностики с электротехническими элементами концевых муфт кабельных линий под нагрузкой в точках измерений на основе контроля динамики температуры, сопротивления и толщины изоляции, путем обоснования рациональных параметров электротехнических устройств контроля и прогнозирования их технического состояния.

Объект исследования: концевая муфта кабельной линии и электротехнические устройства контроля их технического состояния.

Предмет исследования: деградиационные процессы в концевой муфте кабельной линии под нагрузкой.

Методы исследования: для решения поставленных задач использовались методы электромеханики и теоретических основ электротехники, численные методы, методы математической статистики, теория вероятности, теория тепловых процессов, экстраполяционные методы прогнозирования, планирование эксперимента, методы оптимизации. Проверка теоретических результатов осуществлялась путем проведения численных и натуральных экспериментов.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1) математическая модель электротехнического устройства диагностики технического состояния концевых муфт кабельной линии под нагрузкой на основе схем замещения в контрольных точках, позволяющих учесть отклонения от нормального состояния на основе учета изменения температуры, сопротивления и толщины изоляции концевых муфт, путем непрерывного измерения значения каждого из диагностических параметров для определения их технического состояния;

2) условия реализации математической модели переходных процессов в системе концевая муфта кабельных линий – электротехнический контроль технического состояния в точках измерения;

3) установлены зависимости для прогнозирования технического состояния концевых муфт кабельных линий под нагрузкой по критерию

надежности на основе рациональных параметров схемы замещения нового устройства в местах совмещения.

Научная новизна заключается в обоснование рациональных параметров электротехнических устройств диагностики и обеспечения требуемого уровня совмещения с концевой муфтой кабельной линии под нагрузкой:

1) получены аналитические зависимости на основе анализа схем замещения для расчета рациональных параметров электротехнических устройств контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий под нагрузкой, учитывающие характеристики температуры, сопротивления и толщины изоляции, а так же переходные электромагнитные и электромеханические процессы концевых муфт кабельных линий;

2) разработана методика прогнозирования технического состояния концевой муфты кабельной линии под напряжением путем аппроксимации динамики активных и емкостных составляющих, позволяющая выявить зарождение и развитие дефектов;

3) определены зависимости рациональных параметров электротехнических устройств контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий под нагрузкой в точках совмещения, учитывающие характеристики температуры, сопротивления и толщины изоляции и переходные электромагнитные и электромеханические процессы концевых муфт кабельных линий.

4) Установлены закономерности формирования электромеханических и электротехнических процессов в концевых муфтах кабельных линий для определения требуемого уровня совместимости электротехнических устройств контроля их технического состояния с электротехническими элементами концевых муфт.

Достоверность научных положений.

Основные научные положения и выводы основываются на фундаментальных положениях общей теории электротехники и математики, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований, расхождение между которыми составило 14,5%, что подтверждает их удовлетворительную сходимость, практическим применением результатов работы в производстве.

Практическая значимость.

Разработана методика экспериментального исследования технического состояния концевой муфты кабельной линии под нагрузкой, а так же определения и прогнозирования технического состояния концевой муфты кабельной линии.

Реализация результатов работы.

Основные научно-практические результаты диссертационной работы в ОАО «Тулские городские электрические сети», а также используются в учебных курсах «Электроэнергетика», «Электроснабжение», «Воздушные кабельные линии», «Средства коммутации электрической энергии» на кафедре «Электроэнергетика» ТулГУ..

Апробация работы.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных молодежных научно-технических конференциях ТулГУ (г. Тула, 2009 - 2014 гг.) и V, VI научно-практических конференциях ТулГУ «Молодежные инновации» (г. Тула, 2011 г.), VI Международной (XVII Всероссийская) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП) (г. Тула, 2010 г.), Пятой международной Школы-семинаре молодых ученых и специалистов «Энергосбережение – теория и практика» (г. Москва, 2010 г.), 9-й Всероссийской научной конференции, (г. Вологда: ВоГТУ, 2011 г.), Международной научно-технической конференции «Энергосбережение - 2012» в рамках X Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» (г. Москва, 2012 г.), Международной научно-технической конференции «Энергоэффективность - 2012» в рамках I Международного электроэнергетического форума «Электросетевой комплекс. Инновации. Развитие» (г. Москва, 2012 г.), Международной научно-технической конференции «Энергосбережение - 2013» в рамках XI Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» (г. Москва, 2013 г.), Международной научно-технической конференции «Энергосбережение - 2014» в рамках XII Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке», VII Международной конференции по автоматизированному электроприводу «АЭП-2012» (г. Иваново, 2012 г.). Публикации. По результатам диссертации было опубликовано 7 работ, из них 6 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 патенте.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 101 наименование и приложения с результатами внедрения. Общий объем составляет 100 страницы, содержит 18 иллюстраций и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность научно-технической задачи, сформирована цель диссертации, сформулированы задачи, решению которых посвящена диссертация, излагаются подход и методы исследования, отмечаются научная новизна, практическая значимость работы, а так же апробация работы, приведена структура диссертации.

В первой главе

Проведен анализ существующих электротехнических устройств контроля технического состояния концевой муфты кабельной линии, который показал, что они не позволяют с необходимой достоверностью анализировать состояние концевых муфт кабельных линий.

Сводные данные выхода из строя концевых муфт кабельных линий 6-10кВ ОАО Тульские Городские Электрические Сети за период с 2007 по 2013 г. можно рассматривать как статистическое распределение выхода из строя

концевых муфт кабельных линий. Требуется выровнять это распределение с помощью нормального закона

Напишем выражение нормального закона:

$$f(x) = \frac{1}{2,73\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-6,46)^2}{2 \cdot 2,73^2}} \quad (1)$$

Построим гистограмму и выравнивающую ее кривую распределения

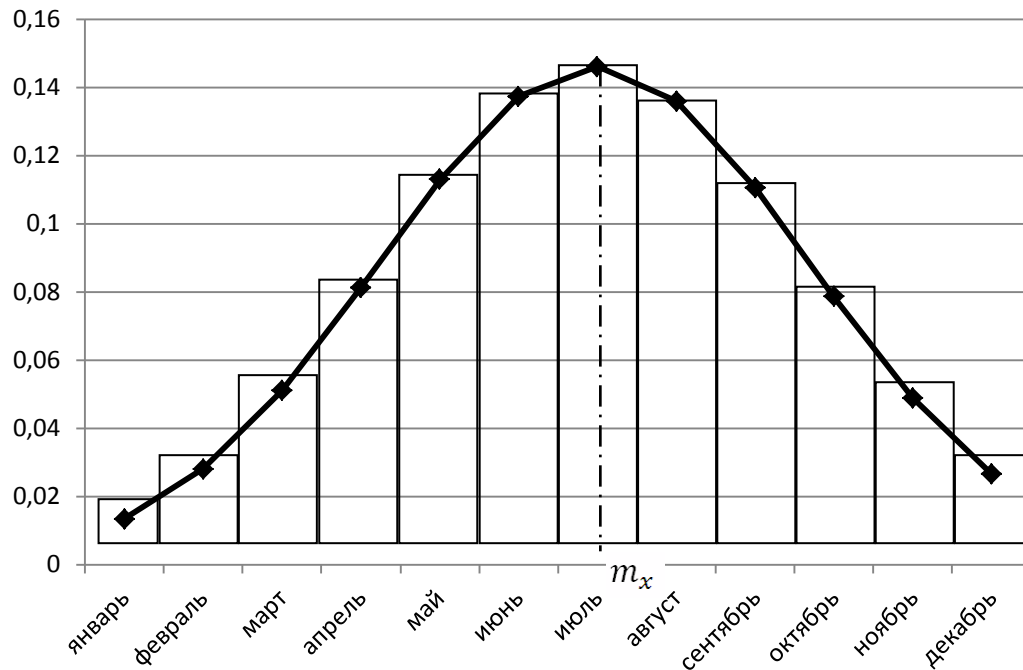


Рис .1 Гистограмма и выравнивающая ее кривая распределения.

На основании статистического анализа отказов концевых муфт кабельных линий разработана их классификация.

Сделан вывод о том, что существующие методы, контролирующие техническое состояние рабочей кабельной линии (метод частичных разрядов, метод рефлектометрии), не позволяют непрерывно, под нагрузкой, с высокой точностью его оценить для концевых муфт кабельных линий. Таким образом контролируемые параметры технического состояния концевых муфт кабельных линий под нагрузкой такие как температура, сопротивление изоляции и толщина изоляции концевых муфт, недостаточно изучены и в комплексе не рассматривались.

Необходимо разработать новые технические устройства повышения эффективности функционирования концевых муфт кабельных линий и электротехнических устройств контроля их технического состояния путем обоснования рациональных параметров устройств диагностики, учитывающих в комплексе характеристики температуры, сопротивления и толщины изоляции.

При дискретном контроле технического состояния концевых муфт кабельных линий, обеспечить его прогнозирование с требуемой точностью и определить зависимости для расчета регламента технического обслуживания

Таблица 1. Классификация отказов концевых муфт кабельных линий.

О Т К А З Ы				
По причине			По прогнозируемости	
1. Конструктивные			1. Прогнозируемые	
2. Производственные			2. Не прогнозируемые	
3. Эксплуатационные				
По характеру			По ремонтпригодности	
1. Устойчивые			1. Восстанавливаемые	
2. Неустойчивые			2. Не восстанавливаемые	
По повторяемости			По контролепригодности	
1. Единичные			1. Контролируемые	
2. Систематические		2. Не контролируемые		
По физической природе				
1. Нарушение герметичности заделки концевой муфты				
2. Стирание поверхности наиритовых трубок				
3. Течь пропиточного состава в местах окончания корпуса заделки и выхода жил из корпуса				
4. Низкое качество и износ изоляции				
5. Коронирование по поверхности наиритовых трубок				
6. Несоблюдение радиуса изгиба				
7. Износ бумажной изоляции				
8. Износ эпоксидной изоляции				
По функциональной природе				
1. Снижение надежности трансформаторных подстанций				
2. Снижение надежности поверхности наиритовых трубок				
3. Снижение надежности кабельной линии				
4. Увеличение вероятности возгорания кабельной муфты				

Во второй главе

Разработана математическая модель переходных процессов в концевых муфтах кабельных линий, учитывающие в комплексе параметры толщины, сопротивления и температуры изоляции концевой муфты

Физические процессы протекающие в элементах концевых муфт, можно разделить на процессы в изоляции, проводниках, контактах и конструкции. В 78% случаев выхода из строя концевых муфт причиной является дефекты изоляционного материала. Процессы протекающие в изоляции концевой муфты описываются уравнениями движения:

$$c = c_{\infty} e^{-\frac{W_0}{RT}} = c_{\infty} e^{-\frac{B}{T}}, \quad (2)$$

где c_{∞} - постоянная реакция, соответствующая температуре $T \approx \infty$;

W_0 – энергия активации, $B = \frac{W_0}{R}$

R – газовая постоянная.

Строя график $y_1 = \sigma_0 e^{\alpha_1 \Delta \theta} E^2 s$ (например, для $E = E_s$) и $y_2 = \beta \Delta \theta$ (рис. 2) получим для точки пересечения значение приращения температуры внутри проводящего канала $\Delta \theta = T - T_0$. Для критического случая, когда прямая $y_2 = \beta \Delta \theta$ является касательной к кривой $y_1 = \sigma_0 e^{\alpha_1 \Delta \theta} E^2 s$, имеет место неограниченное возрастание приращения температуры $\Delta \theta$.

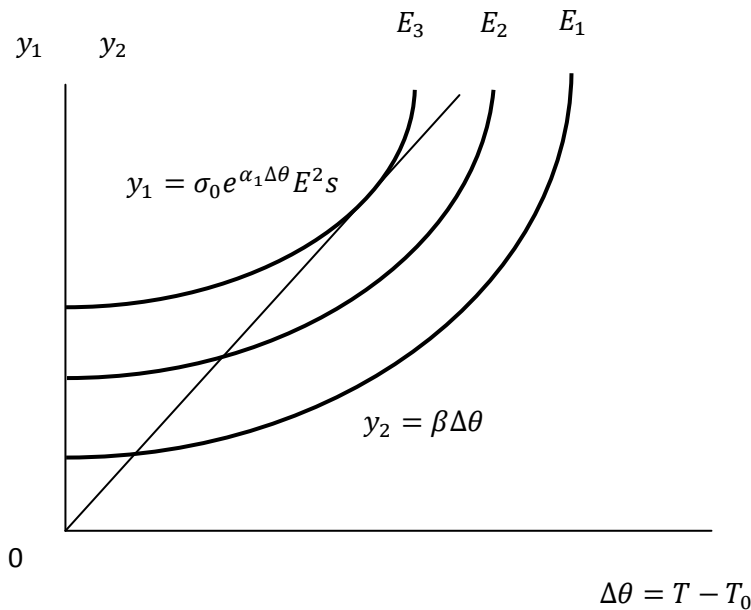


Рис. 2. График значение приращения температуры внутри проводящего канала $\Delta \theta = T - T_0$.

$\Delta \theta_{\text{доп}}(\bar{h})$ – допустимая температура перегрева в зависимости от уменьшения толщины изоляции с течением времени (среднего срока службы τ_0).

$$\Delta \theta_{\text{доп}} = - \frac{\ln(\tau_0 \bar{h})}{\alpha} \quad (3)$$

где $\bar{h} = \bar{h}_0 - \bar{h}_{\text{кр}}$ измерение уменьшения толщины изоляции;

Сопротивление изоляции кабелей изменяется в зависимости от температуры. Пересчет сопротивления изоляции кабелей к температуре 20°C ($R_{\text{из}20}$) производят по формуле

$$R_{\text{из}t} = R_{\text{из}20} e^{\alpha_{\text{из}}(t - 20)} \quad (4)$$

Получены зависимости на основе исследования математической модели и анализа схем замещения для расчета рациональных параметров контроля технического состояния концевых муфт, учитывающих в комплексе температуру изоляции, сопротивление изоляции и толщину изоляции концевой муфты и позволяющие обосновать уровень совместимости концевой, а так же определена синусоидальная компонента тока к моменту замыкания концевой муфты кабельной линии.

На рис. 3 приведено трехфазное замыкание в концевой муфты.

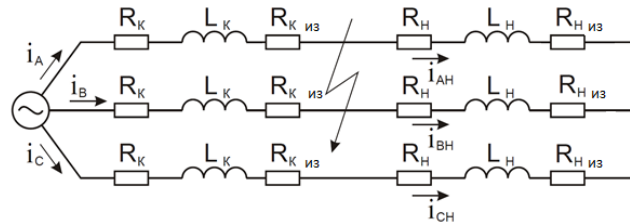


Рис. 3. Трехфазное замыкание в концевой муфты

Дифференциальное уравнение, связывающее ток и падение напряжения в любой фазе (мы рассмотрим фазу А), является неоднородным:

где i_A, i_B, i_C – фазные токи;

R_K – активное сопротивление левого участка кабеля;

L_K – индуктивность кабеля;

$R_{K из}$ – сопротивление изоляции

$$R = R_K + R_{K из} \quad (5)$$

Так как $i_A + i_B + i_C = 0$, то

$$U_m \sin(\omega t + \alpha) = R_K i_A + L'_K \frac{di_A}{dt} \quad (6)$$

где $L'_K = L_K + M_K$. Уравнению (6) соответствует однофазная схема замещения, представленная на рис. 4

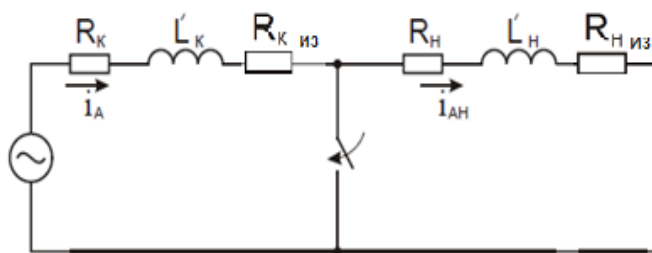


Рис. 4. Эквивалентная схема

Поскольку уравнение (6) неоднородное, ток переходного процесса является суммой принужденной компоненты (частное решение) и свободной составляющей (общее решение):

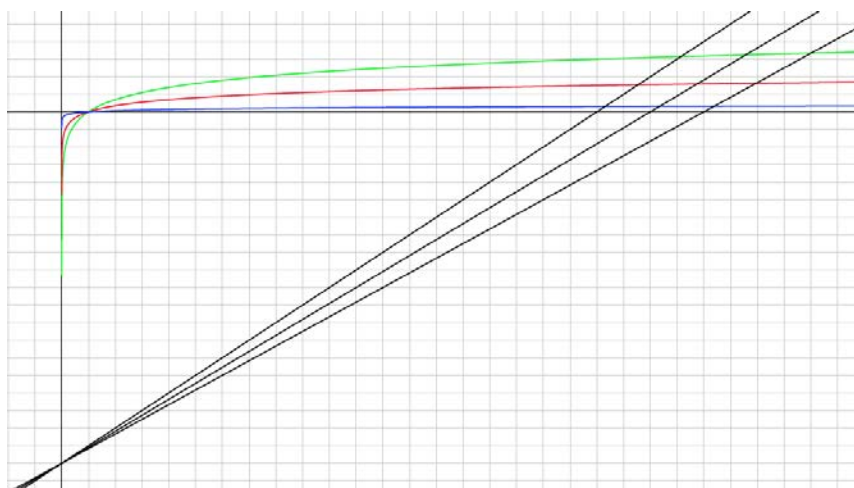
$$I_{m(0)} \sin(\alpha - \varphi_{(0)}) = I_m \sin(\alpha - \varphi_k) + i_{a0} \quad (7)$$

В итоге в выражение (8) синусоидальной компоненты тока к моменту замыкания описывает электрофизические процессы, происходящие в концевой муфте

$$I_{m(0)} = \frac{U_m}{\sqrt{((R_{k20} [1 + (\ln(\tau_0 \frac{c}{h_0 - h_{kp}}) - \alpha \times 20^\circ\text{C})] + R_{k \text{ из } 20} e^{\alpha_{из}} (t - 20))^2 + ((R_{H20} [1 + (\ln(\tau_0 \frac{c}{h_0 - h_{kp}}) - \alpha \times 20^\circ\text{C})] + R_{H \text{ из } 20} e^{\alpha_{из}} (t - 20))^2 + (\omega L'_k + \omega L'_H)^2)}} \quad (8)$$

На основании выражение синусоидальной компоненты тока построен график уровня совместимости (рис. 4) системы «Концевой муфты и электротехнического устройства контроля технического состояния концевой муфты.

$\Delta\theta_{\text{доп}}, t^\circ\text{C}$



$\bar{h}, \text{мм}$
 $R_{\text{из}}$

Рис. 4 Уровень совместимости

Рассматриваются вопросы, связанные с определением уровня и показателей надежности, для установления его функциональных связей с уровнем совместимости системы «Концевая муфта - электротехническое устройство контроля технического состояния» и расчета рациональных параметров электротехнических устройств контроля технического состояния концевой муфты

Вероятность отказа определяется по формуле:

$$Q_H = \frac{Q_{CH}}{K_{ТУ}} \quad (9)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что значение Q_{CH} изменяется пределах

$$m_{\text{наим}} 1,652 \quad (10)$$

$$m_{\text{наиб}} = 11,417 \quad (11)$$

$$q_{\text{сн}} = 0,1447 \quad (12)$$

Технический уровень системы концевой «концевая муфта кабельных линий – электротехнический контроль технического состояния в точках измерения»

$$K_{\text{ТУ}} = \frac{1}{3} \left(\frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{с}}} + \frac{N_{\text{н}}}{N_{\text{с}}} + \frac{M_{\text{с}}}{M_{\text{н}}} \right) \quad (13)$$

где $K_{\text{ТУ}}$ - коэффициентом технического уровня;

$\varphi(i)$ – функция, нормирующая вес i -го относительного показателя, входящего в ранжированную последовательность;

n – общее число показателей;

K_{n_i} – относительное значение i -го показателя, значимость которого определяется местом, занимаемым в ранжированной последовательности

где соответственно $F_{\text{н}}$, $F_{\text{с}}$ – уровень совместимости «Концевая муфта кабельных линий – электротехнический контроль технического состояния в точках измерения» нового и существующего технического уровня $N_{\text{н}}$, $N_{\text{с}}$ – число контролируемых параметров системы концевой муфты устройством нового и существующего технического уровня; $M_{\text{с}}$, $M_{\text{н}}$ – затраты на техническое обслуживание существующего и нового технического уровня.

Экспериментальные исследования значений данных параметров входящих в состав выражения (2) позволили рассчитать $K_{\text{ТУ}} = 13,46$ Исходя из структуры взаимосвязанных элементов и электротехнических устройств контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий и равной вероятности отказов по общеизвестным зависимостям структурной надёжности устанавливается требуемая их вероятность отказов $q_{\text{нм}} = q_{\text{н}}(\Phi_i)$ и уровень ее показателей .

Установлена функциональная связь между уровнем надежности и параметрами вероятностных характеристик.

В третий главе

Разработано устройство контроля технического состояния концевой муфты кабельной линии (рис.5), обеспечивающие повышение эффективности ее функционирования. Получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель №2014128645/ 07(046336) Российская Федерация 2014.

Устройство контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий.;

Выполняется расчет отклонения сопротивления для каждой фаз непрерывно; выполняется расчет отклонения температуры изоляции непрерывно; выполняется расчет отклонения толщины изоляции в определенных точка непрерывно.

Сигнал о состоянии концевой муфты подают из второго выхода концевой муфты ко входу устройства контроля сопротивление изоляции 7, из выхода устройства контроля сопротивление изоляции сигнал подают на вход ключа устройства контроля сопротивление изоляции 8, далее из первого выхода ключа устройства контроля сопротивление изоляции 8 сигнал подают на второй вход ключа устройства контроля технического состояния концевой муфты 3, из второго выхода ключа устройства контроля сопротивление изоляции 8 сигнал подают на третий вход блока с дисплеем 4, сигнал о состоянии концевой муфты подают из первого выход концевой муфты ко входу датчика температуры 1, далее сигнал из выход датчика температуры подают ко входу ключа датчика температуры 2, сигнал подают из первого выхода ключа датчика температуры 2 к первому входу ключа устройства контроля технического состояния концевой муфты 3, из второго выхода ключа датчика температуры 2 подают к первому входу блока с дисплеем 4, из первого выхода ключа устройства контроля технического состояния концевой муфты 3 подают ко второму входу блока с дисплеем 4, из второго выхода концевой муфты сигнал подают ко входу толщиномера изоляции 5, из выход толщиномера изоляции 5 сигнал подают ко

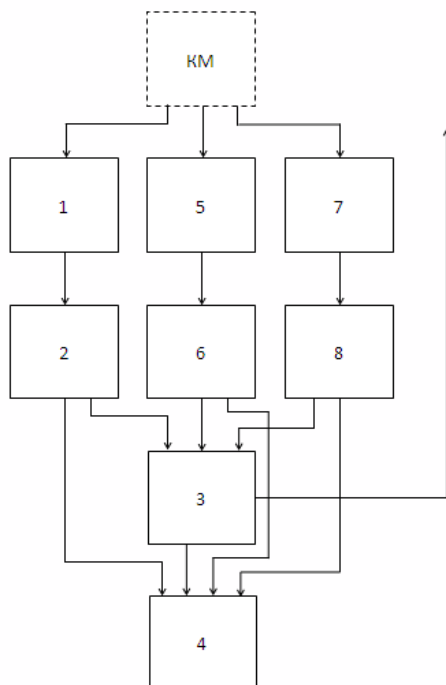


Рис. 5 *Схема электротехнического устройства контроля технического состояния концевой муфты кабельной линии*

входу ключа толщиномера изоляции 6, из первого выход ключа толщиномера изоляции 6 сигнал подают ко второму входу ключа устройства

контроля технического состояния концевой муфты 3, из второго выхода ключа толщиномера изоляции 6 сигнал подают к третьему входу блока с дисплеем 4, из второго выхода ключа устройства контроля технического состояния концевой муфты 3 подают ко входу устройства к которому подключена концевая муфта. При достижении контролируемыми параметрами аварийного значения, при уменьшении сопротивления изоляции ниже допустимого значения, при увеличении температуры воронки выше допустимого и при уменьшение значения толщины изоляции ниже допустимого включается ключ устройства контроля технического состояния концевой муфты 3, посылающий сигнал на блок с дисплеем 4 для индикации аварийного состояния, отключающий электротехническое устройство, к которому подключена концевая муфта, от сети.

Для обеспечения должного функционирования разработанной модели устройства, определены и обоснованы ее рациональные параметры. Установлены зависимости для прогнозирования технического состояния концевых муфт кабельных линий и расчета их остаточного ресурса, и, определены границы допустимого отклонений ее параметров

Общий вид формулы дифференцирования назад (ФДН) - метода: $u_{n+1} + \sum_{j=1}^k a_j u_{n+1-j} = \tau b f_{n+1}$ где коэффициенты a_j выбираются из условий аппроксимации метода. В нем формулы реализованы с помощью вектора Нордсика, благодаря чему эффективно автоматически изменяется порядок и величина шага.

Семейство $A(a)$ - устойчивых ФДН - методов с достаточно большим значением угла полураствора a носит общее название методов Гира. Оценим вычислительные затраты на примере решения одного из уравнений используя следующие критерии: Δ - max относительная ошибка (в конце интервала интегрирования), ЧВФ – число вычислений функции. Результаты сведем в таблицу 3

Сравнение методов решения дифференциальных уравнений Таблица3

Метод	ЧВФ	Δ
Адаптивный	1762	4.23
Гира	1357	3.42
Рунге-Кутты	2239	3.91
Мерсона	2718	4.13

Наиболее предпочтительный метод во всех отношениях является метод Гира с адаптивным шагом, дающий погрешность 3,42.

Диагностическими признаками является сопротивление изоляции (R), толщина изоляции (H) и температура (T). Будем использовать безразмерный параметр прогнозирования, как отношение скоростей изменения R, H, T в работающем и предельно изношенной концевой муфте. На рис. 6 показана схема определения Z.

Получим:

$$Z = \left(\frac{R_i - R_H}{t_i} \right) \cdot \left(\frac{t_2}{R_3 - R_H} \right) \quad (9)$$

$$Z = \left(\frac{H_i - H_H}{t_i} \right) \cdot \left(\frac{t_2}{L_3 - L_H} \right) \quad (10)$$

$$Z = \left(\frac{T_i - T_H}{t_i} \right) \cdot \left(\frac{t_2}{T_3 - T_H} \right) \quad (11)$$

где R_H, H_H, T_H - начальные значения при диагностировании;

- $R_i, H_i, T_i, R_3, H_3, T_3$, - значения в диагностируемом и предельно изношенном объектах соответственно;

- t_i – момент времени при диагностировании;

- t_2 – момент времени нахождения объекта в нормальном состоянии.

Критерием исправности или неисправности являются соотношения:

- $Z > 1$ – исправен;

- $Z \leq 1$ – неисправен.

При дискретном контроле параметров температуры, толщины и сопротивления изоляции концевой муфты используется прогнозирование технического состояния концевой муфты кабельной муфты.

Величины R_1, H_1, T_1 , (номинальные) определены в паспортах на оборудование, а также ГОСТами.

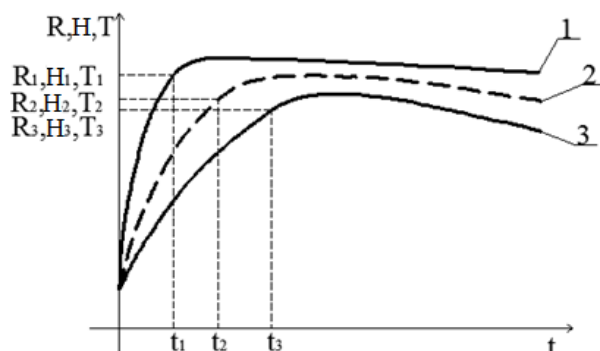


Рис. 6. Схема нахождения параметра прогнозирования

1-абсолютно исправный элемент;

2- элемент, находящийся в допустимом диапазоне;

3- предельно изношенный элемент.

Для прогнозирования приняты следующие границы отклонений параметров:

- в пределах 7% является нормальным;

- в пределах 10-15 % показывает зарождение разрушающих процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта;

- в пределах 16-20 % сигнализирует об опасности, подается сигнал оператору. Необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети;

- от 25% и более - аварийное отключение трансформатора от сети.

Статистическая обработка диагностических параметра, позволяет определить исходные данные аппроксимирующей функции и остаточного ресурса (рис. 7).

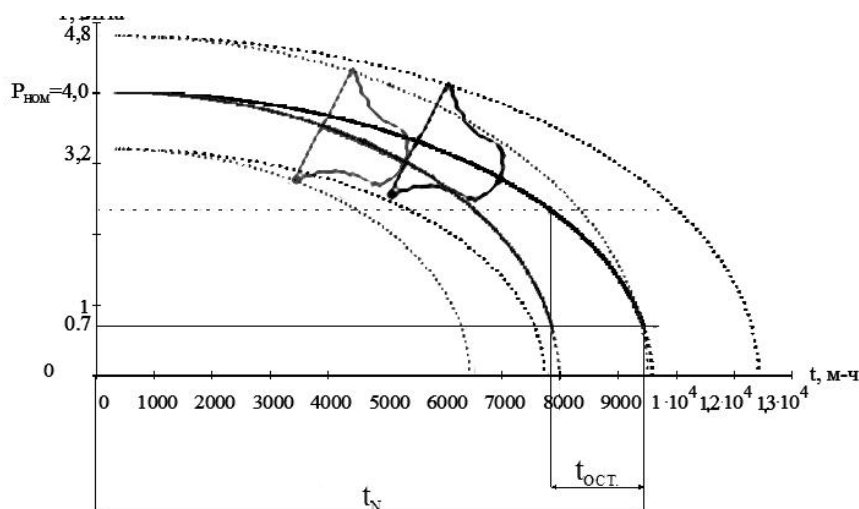


Рис. 7 Определение остаточного ресурса

Сравнивая расчеты остаточного и технического ресурса испытуемой концевой муфты имеем отклонение 14,5%. Следовательно расхождение между теоретическими и экспериментальными исследованиями не превышает 15%, что допускается в инженерных расчетах и подтверждает правильность установленного требуемого уровня надежности системы концевая муфта — устройство контроля технического состояния концевой муфты.

В четвертой главе

Проведено планирование эксперимента и обоснована надежность получения требуемого объема их проведения.

Разработана электрическая схема и методика для проведения экспериментальных исследований и прогнозирования технического состояния концевой муфты кабельной линии под нагрузкой путем аппроксимации динамики активных, индуктивных составляющих их полных сопротивлений экстраполяционными степенными полиномами, позволяющая выявить зарождение и развитие дефектов.

Проведена обработка экспериментальных исследований и определена адекватность теоретических и экспериментальных исследований, которая показала, что расхождение не превышает 15%, что допускается в инженерных расчетах.

На рис. 8 изображена общая схема подключения устройства контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий

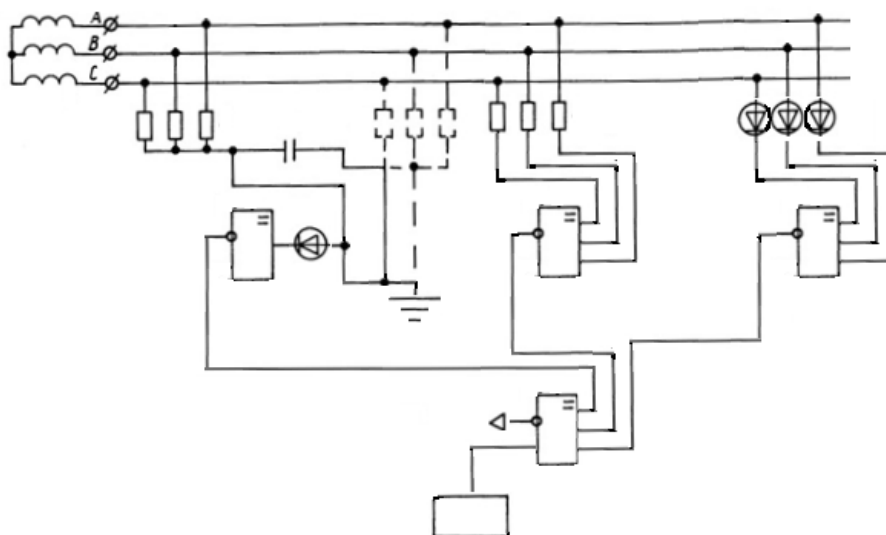


Рис. 8 *Схема подключения устройства контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий*

Экспериментальные исследования с применением разработанного устройства было выполнено для 15 концевых муфт на подстанциях РП-71, ТП-44, ТП-777 ОАО «Тульские городские электрические сети. Из них 9 со сроком службы более 15 лет:

- 1 кВ – 7шт;
- 10 кВА – 8шт;

Результаты фактических замеров

Таблица3

№ Концевая муфта	Риз, Ом	Тиз, оС	Низ, мм
1	786	69	4,68
2	768	60	4,53
3	786	62	4,45
4	721	68	4,15
5	779	71	4,45
6	758	73	4,44
7	577	86	3,68
8	695	69	4,13
9	781	68	4,35
10	768	61	4,45
11	715	68	4,09
12	784	63	4,56
13	678	66	4,14
14	707	73	4,13
15	658	92	3,12

Результаты расчетов по схемам замещения Таблица 4

№ Концевая муфта	Rиз, Ом	Tиз, оС	Низ, мм
1	782	64	4,57
2	775	58	4,51
3	788	57	4,41
4	725	62	4,07
5	781	68	4,33
6	768	66	4,38
7	589	84	3,58
8	705	62	4,05
9	797	64	4,31
10	777	57	4,41
11	723	67	4,01
12	785	62	4,42
13	687	61	4,04
14	716	68	4,09

Сравнивая результаты фактических замеров и результаты расчетов по схеме замещения получаем отклонение 14%. Следовательно расхождение между теоретическими и экспериментальными исследованиями не превышает 15%, что допускается в инженерных расчетах.

Разработано, апробировано и внедрено на опытном участке устройство контроля технического состояния концевых муфт кабельной линии. Предложенное устройство позволило сократить на 35% - 40% количество выходов из строя концевых муфт кабельных линий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой поставлена и решена задача повышения эффективности функционирования концевых муфт кабельных линий и электротехнических устройств контроля их технического состояния, установления зависимостей для обеспечения требуемого уровня совместимости электротехнических устройств контроля технического состояния и элементов концевых муфт, учитывающих в комплексе факторы изменения температуры, сопротивления, толщины изоляции для повышения эффективности контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий.

1) Выполнен анализ существующих методов и электротехнических устройств контроля концевых муфт, приведена классификация дефектов с сортировкой по узлам конструкции, указаны причины их возникновения и к каким последствиям это приводит. Выявлено, что существующие методы не всегда возможно применить в современных условиях, т.к. в большинстве они требуют отключения концевых муфт от сети, не выявляют дефекты на ранних стадиях;

2) Разработана математическая модель переходных процессов в концевых муфтах кабельных линий, учитывающие в комплексе параметры толщины, сопротивления и температуры изоляции концевой муфты;

3) Определены и обоснованы рациональные параметры электротехнических устройств контроля технического состояния концевых муфт, учитывающие в комплексе температуру, сопротивление и толщину изоляции;

4) Разработана методика контроля технического состояния концевой муфты на основе динамики температуры, сопротивления и толщины изоляции;

5) Разработана методика прогнозирования технического состояния концевых муфт, путем аппроксимации динамики активных составляющих их полных сопротивлений экстраполяционными степенными полиномами, позволяющая выявить зарождение и развитие дефектов.

6) Проведены экспериментальные исследования по оценки правильности и эффективности результатов теоретических исследований и численного эксперимента, которые показали, что расхождение между ними не превышает 14,5%, что допускается в инженерных расчетах. Разработанное устройство контроля технического состояния концевой муфты позволило сократить на 35% - 40% количество выходов из строя концевых муфт кабельных линий

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Степанов В.М., Иванов Д.А. Повышение эффективности работы электротехнических устройств в трансформаторных подстанциях. VII магистерская научно-техническая конференция: доклады статей, часть первая/ под научной редакцией д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 218с, стр. 179-180;

2. **Ivanov D.A. Failures analysis of cable lines termination. Вестник высших учебных заведений Черноземья. Изд-во: ЛГТУ, 2014. №2. с 14-16**

3. **Stepanov V.M., Ivanov D.A., Justification of diagnostic parameters for technical state control of cable lines Вестник высших учебных заведений Черноземья. Изд-во: ЛГТУ, 2014. №2. с 17-18;**

4. Степанов В.М., Иванов Д.А. Повышение функционирования электротехнических устройств контроля технического состояния концевых муфт кабельных линий. VI магистерская научно-техническая конференция: доклады статей, часть первая/ под научной редакцией д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 206с, стр. 185-186;

5. **Степанов В.М., Иванов Д.А. Анализ надежности изоляционных материалов концевых муфт кабельных линий. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.8. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. с.103-108**

6. **Степанов В.М., Иванов Д.А. Классификация отказов концевых муфт кабельных линий. Вестник высших учебных заведений Черноземья. Изд-во: ЛГТУ, 2014. №3. с 6-8;**