

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»

**Иванов Валерий Анатольевич**

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЛЭП ПО ВЕЛИЧИНЕ ТОКОВ УТЕЧКИ С ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ИНФОРМАЦИИ**

#### **Актуальность работы.**

Высоковольтные воздушные линии электропередачи (ВЛ) являются одним из важнейших компонентов в составе единой системы электроснабжения, предназначенной для снабжения потребителей электроэнергией. Более половины всех перерывов в энергоснабжении обусловлено проблемами воздушных линий электропередачи.

Состояние изоляции на линиях передачи и распределения электроэнергии является одним из важнейших условий для успешной работы энергосистемы. Исправность изоляции воздушных линий электропередачи (ВЛ) зависит от множества различных факторов: природно-климатические условия окружающей среды, а также тепловые, механические и электрические нагрузки.

Анализ причин отказов воздушных линий электропередачи показывает, что количество отказов зависит от условий эксплуатации воздушных линий и срока их службы, причем значительное количество отказов, порядка 30 % от общего количества повреждений всех элементов ВЛ, происходит по причине нарушения работоспособного состояния внешней изоляции. Поврежденные изоляторы или электрические характеристики, которых не соответствуют требованиям могут привести к перерывам в работе энергосистемы, а также к значительному увеличению потерь электроэнергии при ее транспортировке по ВЛ.

Исследованиям в области поведения и диагностики состояния изоляции ВЛ во время эксплуатации посвящены труды многих ученых: Александрова Г.Н., Арбузова Р.С., Овсянникова А.Г., Мерхалева С.Д., Соломоники Е.А., Руцких В.М., Плешкова П.Г., Котыш А.И., и др.

Существующие методы оценки состояния изоляции не позволяют осуществлять оперативную диагностику параметров изоляции и требуют улучшения. В настоящее время состояние изоляции ВЛ, оценивается визуально в процессе плановых осмотров путем перемещения обслуживающего персонала вдоль линии электропередач. Для таких методов контроля характерны, значительные интервалы между проверками, высокая стоимость проводимых работ и, как следствие, низкая достоверность информации. Поэтому, оценка текущего технического состояния изоляции ВЛ под рабочим напряжением, а также диагностика и выявление дефектов изоляции требует разработки эффективных технических решений и является актуальной задачей.

**Целью диссертационной работы** - является совершенствование диагностики внешней изоляции воздушных линий электропередачи в процессе

эксплуатации за счет разработки метода удаленного контроля состояния изоляции ВЛ, на основании непрерывного телеметрического мониторинга параметров тока утечки, позволяющего оценивать ее текущее состояние и осуществлять прогноз ресурса (срока службы).

**Идея исследования** заключается в определении параметров тока утечки гирлянд высоковольтных изоляторов воздушных линий электропередачи переменного тока в процессе эксплуатации под рабочим напряжением в режиме «реального» времени на основе комплекса научно-технических решений, обеспечивающего измерение сигналов токов утечки, их помехозащищенную передачу по телеметрическому каналу, позволяющий судить о потенциально опасном состоянии и осуществлять прогноз ресурса изоляторов на основе анализа этих токов.

**Объектом исследования** в работе является внешняя изоляция высоковольтных воздушных линий электропередачи 110 кВ – 500 кВ переменного тока.

**Задачи**, решаемые для достижения поставленной цели в диссертационной работе:

- анализ причин отказов и повреждений элементов ВЛ в зависимости от класса напряжения и срока службы;
- обоснование и выбор критериев оценки качества изоляции высоковольтных ЛЭП;
- исследования и разработка методов и средств обеспечения эффективной диагностики, мониторинга и прогнозирования состояния изоляции подвесных изоляторов высоковольтных ЛЭП;
- разработка принципов передачи телеметрической информации о состоянии изоляции высоковольтных изоляторов ВЛ;
- разработка и выбор помехоустойчивых алгоритмов для передачи информации о состоянии изоляции подвесных изоляторов высоковольтных ВЛ.

**Научная новизна:**

- способ контроля состояния изоляции, позволяющий судить о степени загрязнения и осуществлять прогноз ресурса высоковольтных изоляторов ВЛ.
- помехозащищенные алгоритмы, обеспечивающие достоверность сбора и передачи информации о состоянии изоляции с опор ВЛ в условиях влияния электромагнитных помех и полей.

**Основные научные положения и результаты, выносимые на защиту:**

- принципы и способы диагностики изоляции воздушных линий электропередачи в процессе эксплуатации под рабочим напряжением в режиме «реального» времени;
- принципы и методы обеспечения помехоустойчивой передачи информации в системах дистанционного мониторинга состояния изоляции ВЛ с опор ВЛ в условиях электромагнитных помех;
- методы прогнозирования ресурса изоляторов на основе непрерывного анализа токов утечки гирлянд высоковольтных изоляторов.

**Методы исследования:** Научные и практические результаты диссертационной работы получены с использованием методов теории

электрических цепей и электротехники, теории передачи информации, постановки и планирования эксперимента, статистической обработки данных, а также теории вероятностей. Имитационные исследования, а также результаты моделирования выполнены в программной среде Multisim Design. Некоторые экспериментальные данные получены в лаборатории высоких напряжений кафедры техники и электрофизики высоких напряжений Новосибирского государственного технического университета и в испытательной лаборатории филиала АО РЭС «Восточные электросети» г. Новосибирска. Анализ и обработка экспериментальных данных осуществлялась в программе Microsoft Excel.

**Практическая значимость полученных результатов заключается в:**

- разработке технического решения по контролю и анализу параметров тока утечки с телеметрической передачей информации с опор ВЛ;
- разработке методики по определению степени загрязнения высоковольтных изоляторов и прогнозированию их ресурса в процессе эксплуатации, что позволяет повысить надёжность работы воздушных линий электропередачи и уменьшить потери электроэнергии при ее транспортировке.
- разработке комплекса технических решений по созданию системы дистанционного мониторинга состояния внешней изоляции ВЛ.

**Обоснование и достоверность результатов и выводов.** Научные положения, результаты исследования и выводы опубликованы в научной литературе, подтверждаются путем оценки адекватности материалов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований и согласуются с результатами работы других авторов, опубликованными ранее.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 117 наименований и 3 приложений. Общий объем работы составляет 127 страница, включая 24 таблицы и 65 рисунков.

**Содержание работы.** Во введении обоснована актуальность разработки методов дистанционного мониторинга состояния изоляции ВЛ. Сформулированы цель и задачи диссертации, определены научная новизна, научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту, практическая значимость результатов исследований.

**В первой главе** изложено состояние вопроса и проведен обзор литературных источников, посвящённых анализу причин, приводящих к отказам в работе высоковольтных воздушных линий. Приведен обзор и анализ существующих методов контроля изоляции ВЛ, сформулированы цели и задачи исследования.

Существующие на сегодняшний день методы контроля состояния изоляции обладают ограниченной способностью обнаруживать дефекты изоляторов, особенно на начальной стадии их зарождения. не позволяют осуществлять оперативный контроль электрической прочности изоляции, в режиме реального времени, под рабочим на и требуют улучшения.

**Во второй главе** рассмотрены задачи контроля и методы используемые для оценки состояния изоляции ВЛ. Проведен анализ причин и факторов,

вызывающих ухудшение состояния изоляции во время эксплуатации, проведен статистический анализ повреждений изоляторов ВЛ в зависимости от срока эксплуатации на примере электрических сетей АО «КЕГОС».

Описаны процессы, сопровождающие протекание тока утечки по поверхности высоковольтных изоляторов, разработана эквивалентная схема замещения изолятора с учетом поверхностных разрядных процессов.

В качестве интегрального критерия, характеризующего состояние изоляции ВЛ рассмотрены параметры тока утечки, который определяется током геометрической емкости, поверхностным  $I_{\text{п}}$  током и током сквозной проводимости  $I_0$ :

Для оценки факторов, характеризующих состояние изоляции, проведено исследование модели изолятора в программе Multisim Design.

Проведены экспериментальные исследования зависимости тока утечки высоковольтных изоляторов от срока эксплуатации, на основании полученных данных предложена методика позволяющая определять текущее состояние изоляции и осуществлять прогноз состояния и возможного срока службы изоляторов.

В **третьей главе** осуществлен обзор и анализ технических решений по контролю состояния изоляции ВЛ. В результате предложен способ контроля состояния изоляции высоковольтных воздушных линий под рабочим напряжением позволяющим осуществлять контроль степень загрязнённости изоляции и осуществлять возможный прогноз строка службы изоляторов (остаточный ресурс). Разработано техническое решение, позволяющее осуществлять контроль тока утечки с телеметрической передачей информации с опор ВЛ.

Также в главе рассмотрены различные способы организации- канала связи для передачи информации о состоянии изоляции с опор ВЛ и разработаны помехозащищенные алгоритмы сбора и передачи информации для повышения надежности и достоверности передачи информации с опор ВЛ.

В ходе экспериментальных испытаний передачи информации по различным каналам связи определены области, в которых возможна надежная передача информации в условиях электромагнитных помех и полей ВЛ.

В **четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований по измерению и регистрации токов утечки высоковольтных изоляторов. В качестве объектов эксперимента были выбраны подвесные тарельчатые стеклянные изоляторы типа ПС120-Б широко используемые на ВЛ РК. Для проведения исследований требовалось разработать и изготовить экспериментальный стенд и макетный образец предложенного технического решения с телеметрическое передачей информации.

Также, в главе представлены результаты прогноза возможных значений тока утечки изоляторов для различного количества временных интервалов, выполненные в соответствии с предложенной методикой. Сделан вывод, что количество временных интервалов влияет на точность прогноза состояния изоляции по предложенной методике, и для увеличения точности прогноза необходимо увеличивать количество временных интервалов.

**Основные результаты** выполненных исследований заключаются в следующем:

- осуществлен анализ причин отказов в работе и повреждаемости элементов ВЛ;

–проведен обзор исследований и технических решений, в области контроля состояния изоляции ВЛ;

–рассмотрены имитационные модели, оценивающие влияние различных факторов на состояние изоляции ВЛ. На основании полученных моделей проведены экспериментальные исследования, позволяющие определить критерии оценки состояния изоляции;

–разработан метод контроля состояния изоляции под рабочим напряжением позволяющим осуществлять контроль степень загрязнённости изоляции и осуществлять возможный прогноз срока службы изоляторов;

–разработано техническое решение, позволяющее осуществлять контроль текущего состояния изоляции ВЛ в режиме реального времени, определять степень загрязнения, делать выводы о месте возможного перекрытия изоляции, а также осуществлять прогноз возможного интервала времени, за который состояние изоляции может достичь предельно допустимого значения, когда дальнейшая ее эксплуатация должна быть прекращена;

–рассмотрены способы организации канала передачи информации о состоянии изоляции с опор ВЛ и разработаны алгоритмы помехозащищенной передачи информации в условиях влияния электромагнитных помех;

–проведены экспериментальные испытания передачи информации по различным каналам связи и определены области, в которых возможна надежная передача информации в условиях электромагнитных помех и полей ВЛ

–разработана структурная схема системы дистанционного мониторинга, для своевременного и достоверного контроля состояния изоляции;

–проведены экспериментальные испытания макетного образца датчика тока утечки высоковольтных изоляторов ВЛ, по результатам которых осуществлен расчет прогнозных значений токов утечки с использованием предложенной методики;

–основные научные положения диссертации защищены патентами Республики Казахстан

**Личный вклад соискателя** заключается в решении задач исследования, разработке и обосновании положений, составляющих научную новизну и практическую значимость работы, разработке и изготовлении экспериментальной установки и макетного образца предложенного технического решения, в проведении анализа и обработки экспериментальных данных.

**Основные научные результаты** докторской диссертации опубликованы в 15 научных трудах, в том числе 4 публикации в изданиях, рекомендованных КОКСОН МОН РК, 2 публикации, входящих в информационную базу компаний Scopus, 7 публикаций в международных научно-практических конференциях, в том числе 5 зарубежных (2 индексируемых в базе Scopus), 2 инновационных патента РК