

Конкурс научно-исследовательских и научно-практических работ
на соискание именных стипендий Мэра г. Казани
среди студентов и аспирантов

КОНКУРСНАЯ РАБОТА

на тему:

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ВОЗДУШНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА
ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ В Г. КАЗАНЬ»**

Исследуемое приоритетное направление:

«Развитие промышленного комплекса, энергетика, энергосбережение и новые материалы»

Направление очного этапа Конкурса:

Естественно-научное

Выполнил: _____



Студент ФГБОУ ВО «КГЭУ»
Малаева Ева Денисовна

Научный руководитель: 
Иванов Дмитрий Алексеевич,
Заведующий кафедрой «ПЭ»
ФГБОУ ВО «КГЭУ»,
д.т.н., доцент

Казань – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ	5
2. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.....	13
3. РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ.....	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	21

АННОТАЦИЯ

В настоящее время в электроэнергетике диагностику технического состояния высоковольтных изоляторов (ВИ), как наиболее уязвимых элементов изоляции, проводят посредством осмотра и применения различных мобильных переносимых диагностических устройств (тепловизоров, ультрафиолетовых дефектоскопов, приборов, основанных на ультразвуковых и электромагнитных приемниках).

Вероятность выявления дефектов и загрязнения изоляции при плановом периодическом контроле существенно зависит от погоды во время проведения измерений, так как частичные разряды (ЧР) наибольшей амплитуды возникают в период высокой влажности окружающей среды (дождь, роса) или зимой при температурах таяния снега и возникновения изморозевых отложений на поверхности изоляторов.

В связи с этим, мы исследовали влияние загрязнения высоковольтной воздушной изоляции на пробивное напряжение в г. Казань, путем загрязнения изоляторов по ГОСТ 10390-2015, а также подачи напряжения через АИД-70М и вывода графиков ЧР на осциллограф.

Ключевые слова. Частичные разряды, высоковольтные изоляторы, загрязнения, лабораторный стенд, электрический метод, электромагнитный метод.

ВВЕДЕНИЕ

Высоковольтные изоляторы в сети электропередачи играют решающую роль в сохранении надежности системы. Электроэнергетика часто сталкивается с проблемой пробоя изоляторов из-за осаждения загрязнений на их поверхности. В данной работе исследуются изоляторы с различным загрязнением, определяется их техническое состояние с помощью измерения частичных разрядов, происходящих на поверхности изолятора.

Для выявления загрязнения была разработана специальная лабораторная установка, позволяющая создавать реальные условия для тестирования. Понятие ЧР (частичные разряды) описано в стандарте ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000).

Были рассмотрены условия климата г. Казань для разработки специальной методики.

Цели и задачи исследования:

- Как оседают различного рода загрязнения (в том числе из атмосферы) на изоляторы в г. Казань;
- Работа с аппаратом испытания диэлектриков АИД-70М;
- Как влияют загрязнения на электрическую характеристику изоляторов.

Объектом исследования являются изоляторы – загрязненные и чистые.

Предметом исследования является влияние загрязнения на техническое состояние изоляторов.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Уровень загрязнения атмосферы создается в результате поступления выбросов вредных веществ от всех источников на территории города и атмосферных процессов, влияющих на перенос и рассеивание этих веществ от источников загрязнения.

Систематические наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха в 2021 году проводились на 18 ПНЗ (пост наблюдения за загрязнением) в городах Татарстана, из них в Казани 10 ПНЗ. Отбор проб атмосферного воздуха на стационарных постах наблюдений производился по полной программе – ежедневно четыре раза в сутки.

Уровень загрязнения атмосферы в г. Казань в 2021 г. характеризовался как «повышенный». Среднегодовая концентрация формальдегида составила 1.50 ПДК_{с.с.}. Средние концентрации остальных вредных примесей за год не превышали санитарно-гигиенических норм. В течение 2021 г. в Казани было зафиксировано 444 случаев превышения максимально-разовой ПДК, из них:

- оксид углерода – 23 превышения;
- по диоксиду азота – 41 превышение;
- по сероводороду – 27 превышений;
- по фенолу – 1 превышение;
- по ацетону – 2 превышения;
- по хлорбензолу – 3 превышения;
- по этилбензолу – 12 превышений;
- по формальдегиду – 284 превышения;
- по аммиаку – 51 превышение.

Высоковольтная изоляция линий электропередач с ростом индустриализации настолько сильно подвергается воздействию возрастающего уровня промышленных загрязнений, что, при определенных погодных условиях, имеют место случаи нарушения электрической изоляции [1-2].

Процесс осаждения загрязнения на изоляторах во времени носит сложный динамический характер, на который влияют сезонные изменения ветра, осадков и других сопутствующих факторов. Для достижения предельного значения загрязнения изоляторов обычно требуется не менее 1,5-2 лет. Этот срок следует считать минимально необходимым для получения правильной оценки характеристик, установленных в районе с загрязненной атмосферой первоначально чистых изоляторов [3].

Количество загрязнения на поверхности изоляторов не нарастает беспредельно, а приближается к некоторому установившемуся значению, зависящему от характеристик источника загрязнений, метеорологических условий и типа изолятора.

Наиболее опасны для работы изоляции загрязнения с повышенным содержанием ионообразующих веществ, например, уносы химической и металлургической промышленности, морские брызги и пыль в районах с засоленными почвами. Значительно меньше ионообразующих веществ содержат уносы большинства металлообрабатывающих и машиностроительных заводов, почвенные загрязнения в полевых районах и т. п..

Главным источником частиц загрязняющего вещества, которые находятся в воздухе и затем осаждаются на изоляторы в районах с пылевыми природными загрязнениями, является пыль, поднимаемая с поверхности земли ветром, а также при движении транспорта и при сельскохозяйственных работах. Некоторую роль в загрязнении воздуха в этих районах играют частицы биологического происхождения (споры растений, микроорганизмы). Существенное влияние на работу изоляции в этом случае оказывают свойства почвы, в первую очередь, количество содержащихся в почве солей, их растворимость и способность к образованию электролита, а также ветровая эрозия почвы (дефляция) и сцепляемость частиц с поверхностью изоляторов.

При увлажнении загрязнений на поверхности изолятора дождем, туманом или росой образуется электролит. Под действием рабочего напряжения через проводящий слой начинает протекать ток, называемый током утечки. Значение тока утечки определяется напряжением, проводимостью увлажненного слоя загрязнений и

формой поверхности изолятора. Сопротивление увлажненного и равномерного слоя загрязнений на поверхности гладкого цилиндрического изолятора определяется формулой:

$$R_s = \frac{\rho_0 L}{\pi D \Delta} = \frac{\rho_s L}{\pi D} = \frac{L}{\pi D \chi_s}, \quad (1)$$

где ρ_0 – удельное объемное сопротивление увлажненного слоя загрязнения; L – длина пути утечки по поверхности изолятора; D – диаметр изолятора; Δ – толщина слоя загрязнения; $\rho_s = \frac{\rho_0}{\Delta}$ и $\chi_s = \frac{1}{\rho_s}$ – удельные поверхностные сопротивление и проводимость увлажненного слоя загрязнения, соответственно.

Ток утечки по поверхности изолятора при действующем значении напряжения на нем можно рассчитать по формуле:

$$I_s = \frac{U}{R_s} = \frac{U}{L} \pi \chi_s D = E_l \pi \chi_s D, \quad (2)$$

из которой следует, что ток утечки пропорционален средней напряженности вдоль пути утечки, удельной поверхностной проводимости и диаметру изолятора.

Большинство изоляторов имеет более сложную форму, чем гладкий цилиндр. Сопротивление увлажненной поверхности изолятора сложной формы, например, тарельчатого изолятора, должно быть определено с учетом изменения диаметра изолятора вдоль пути утечки. Сопротивление бесконечно малого участка увлажненной поверхности вдоль пути утечки изолятора, в соответствии с формулой (1):

$$dR_s = \frac{dl}{\pi \chi_s(l) D(l)}, \quad (3)$$

где l – линейная координата вдоль пути утечки; $\chi_s(l)$ и $D(l)$ – удельная поверхностная проводимость и диаметр изолятора при произвольной координате.

При постоянной вдоль пути утечки удельной поверхностной проводимости сопротивление всей поверхности изолятора рассчитывается по формуле:

$$R_s = \frac{1}{\pi \chi_s} \int_0^L \frac{dl}{D(l)} = \frac{k_s}{\pi \chi_s D_e}, \quad (4)$$

где k_s и D_e – коэффициент формы и эквивалентный диаметр изолятора,

$$k_s = \frac{1}{\pi} \int_0^L \frac{dl}{D(l)}, \quad (5)$$

$$D_e = \frac{1}{\frac{1}{\pi} \int_0^L \frac{dl}{D(l)}}. \quad (6)$$

При переменной по длине пути утечки удельной поверхностной проводимости вводится понятие средней поверхностной проводимости, равной отношению коэффициента формы к полному сопротивлению поверхности изолятора:

$$\tilde{\chi}_s = \frac{k_s}{R_s}. \quad (7)$$

На основании формул (2)-(7) для тока утечки по поверхности загрязненного и увлажненного изолятора произвольной формы можно получить следующее выражение:

$$I_s = \frac{U}{R_s} = \frac{U}{L} \pi \tilde{\chi}_s D_e = E_l \pi \tilde{\chi}_s D_e. \quad (8)$$

При протекании тока через увлажненный слой загрязнений на единице поверхности и в единицу времени выделяется энергия:

$$p = E j_s \Delta = j_s^2 \rho_0 \Delta = \left(\frac{I_s}{\pi D(l) \Delta} \right)^2 \rho_0 \Delta = \left(\frac{I_s}{\pi D(l)} \right)^2 \frac{1}{\chi_s(l)}, \quad (9)$$

где E – напряженность электрического поля в элементарном объеме слоя; j_s – плотность электрического тока через элементарное сечение в слое, совпадающая по направлению с напряженностью электрического поля, и которая не равна средней напряженности электрического поля вдоль пути утечки.

С учетом (8) выражение для удельной энергии (9) принимает следующий вид:

$$p = \left(\frac{I_s}{\pi D(l)} \right)^2 \frac{1}{\chi_s(l)} = E_l^2 \frac{\tilde{\chi}_s^2}{\chi_s(l)} \left(\frac{D_e}{D(l)} \right)^2. \quad (10)$$

В случае равномерного загрязнения и увлажнения поверхности изолятора выражение (10) принимает вид:

$$p = E_l^2 \chi_s \left(\frac{D_e}{D(l)} \right)^2. \quad (11)$$

Отсюда следует, что энергия, рассеиваемая на единице поверхности изолятора в единицу времени, пропорциональна квадрату средней напряженности вдоль пути

утечки, удельной поверхностной проводимости и квадрату отношения эквивалентного диаметра изолятора к диаметру при произвольной координате. Таким образом, даже при равномерном загрязнении и увлажнении изоляторов выделяемая мощность неравномерно распределена по поверхности: чем меньше диаметр, тем больше выделяемая мощность [4-5].

В большинстве районов с пылевыми загрязнениями поднимаемая с поверхности пыль не содержит в своем составе большого количества проводящих примесей. При пылевых загрязнениях в наиболее благоприятных условиях работают Воздушные линии электропередач (ВЛ) и открытое распределительное устройство (ОРУ), которые находятся в лесных и болотистых районах, где почвы содержат незначительное количество растворимых проводящих примесей, а поверхность почвы обычно имеет травянистый покров, что затрудняет перенос частиц пыли в воздух. Районы этого типа характерны для г. Казань [6-7]

Был проведен краткий анализ следующих исследований: 1. Измерение на шести мокрых изоляторах одной марки (ПС-210Б) при температуре окружающей среды $+26,3^{\circ}$ и влажности 80 % в лаборатории испытания и диагностики компании ОАО «КЕГОС». Фиксировали данные тока утечки при различных напряжениях. (рис. 1.)

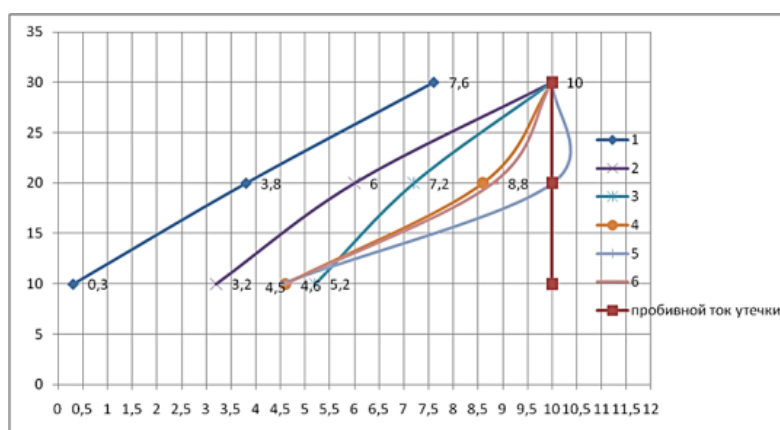


Рис. 1. Зависимость пробивного напряжения от тока утечки стеклянных изоляторов марки ПС-210Б для мокрых изоляторов

Как показывают многочисленные измерения, частичные разряды в местах наибольшей плотности тока появляются при токах утечки порядка 5-10 мА и характеризуются большим числом коротких (1-3 см) сине-фиолетовых стримеров [8].

В результате исследований установлено, что на уменьшение срока службы изоляторов оказывают влияние следующие факторы:

1. Присутствие металлических элементов на поверхности стеклянного изолятора, наличие загрязненности атмосферы.

2. Влияние на поверхность коррозионно-активного вещества, такого, как диоксид серы.

3. Влияние на поверхностную проводимость влаги атмосферы.

Также проводился патентный поиск по информационно-поисковой системе «ФГБУ ФИПС» и «Google Patents», были найдены следующие патенты, схожие по направлению:

- 1.1 Патент №2 679 759 «Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов». Изобретение, реализующие способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов [9], в которых осуществляется пассивный бесконтактный прием электромагнитного излучения частичных разрядов в ультракоротковолновом диапазоне направленной антенной.

- 1.2 Устройство, реализующее способ синхронизации акустического и электромагнитного излучения от ЧР и фазного напряжения [10]. В данном устройстве при помощи электромагнитной и акустической антенн регистрируют электромагнитные и акустические сигналы излучения от частичных разрядов, синхронизированные с фазой высокого напряжения, накапливают их по узким фазовым интервалам в блоке памяти (персональном компьютере). После этого это фазовое распределение числа импульсов и интенсивности (заряда) сравнивают с ранее записанным распределением аналогичных сигналов для эталонного изолятора. Выделяют по определенной компьютерной программе сигналы, превышающие безопасный для нормального функционирования уровень, выявляют изоляторы с дефектами и определяют возможность их дальнейшего функционирования.

1.3 Устройство, реализующее способ синхронизации электромагнитного, инфракрасного излучения частичных разрядов с синхронизацией по фазе [11]. Сущность изобретения заключается в следующем: одновременно с пассивным приемом электромагнитным приемником электромагнитного излучения от частичных разрядов осуществляют пассивный прием инфракрасным приемником ИК излучений от частичных разрядов, индикацию и совместную компьютерную обработку электромагнитных и ИК сигналов, синхронизацию электромагнитных и ИК сигналов с фазой высокого напряжения, накопление их по узким фазовым интервалам.

1.4 Устройство, реализующее способ бесконтактного дистанционного контроля технического состояния высоковольтных линейных изоляторов воздушных линий электропередач [12]. Сущность изобретения заключается в одновременной узконаправленной регистрации ИК и УКВ-излучений частичных разрядов, акустического излучения частичных разрядов, сигналы которых синхронизируются с фазой высокого напряжения промышленной сети. Дополнительно регистрируется фотовидеоизображение исследуемого линейного изолятора. Регистрация излучений частичных разрядов фазы высокого напряжения промышленной сети, фотовидеоизображений изолятора осуществляется датчиками регистрации, установленными на БПЛА.

1.5 В данной работе [13] на основе анализа результатов многолетнего опыта дистанционной диагностики подвесной изоляции контактной сети переменного тока, проводимой НПФ «Оптоойл» на Юдинской дистанции электроснабжения Горьковской железной дороги, а также путем экспериментальных и теоретических исследований определены возможности тепловизионной и ультразвуковой диагностики гирлянд подвесных изоляторов. Выявлены области возможных рабочих состояний изоляции, при которых наличие в ней дефектных изоляторов не выявляется измерением напряжения на изоляторах с помощью штанги, в то же время, они хорошо обнаруживаются дистанционно с помощью тепловизора. В лабораторных условиях была собрана установка, имитирующая реальную ситуацию работы гирлянды из трех фарфоровых изоляторов в контактной сети переменного тока напряжением 27,5 кв. В

экспериментах использовались гирлянды и отдельные изоляторы, снятые по результатам диагностики тепловизором «Карат» (ТВ), ультразвуковым дефектоскопом УД-8В (УД) на участке железной дороги в районе пос. Дербышки.

1.6 Если расположить индикатор дефекта на основе светодиода вблизи изолирующей конструкции, находящейся под напряжением, то электрическое поле создаст разность потенциалов между двумя его электродами. Величина наведенной на излучателе ЭДС, протекающего через него тока и яркость свечения будут определяться напряженностью электрического поля. Поскольку распределение электрического поля и потенциала вдоль изолирующей конструкции изменяется при нарушении целостности отдельных ее участков, то дефектное состояние изолирующей конструкции может быть обнаружено по интенсивности свечения индикатора, установленного на участке изолирующей конструкции или вблизи на опоре. Принцип работы оптического индикатора поясняется следующим. Распределение электрического поля и потенциала вдоль изолирующей конструкции изменяется при нарушении целостности отдельных ее частей. Разность потенциалов на поврежденном участке уменьшается, что вызывает увеличение напряжения вблизи неповрежденной части конструкции. Дефектное состояние изолирующей конструкции может быть обнаружено по интенсивности свечения индикатора, которая зависит от падения напряжения на его электродах и протекающего тока.

В целом исследования показали возможность использования предложенного устройства оптической индикации для контроля изоляции. Данные индикаторы помогут при плановых осмотрах ОРУ и ВЛ. Их можно использовать как стационарные приборы, закрепленные непосредственно на изоляторе, или в качестве переносного прибора, устанавливаемого на изолирующую штангу. Имеется потенциал совершенствования метода за счет установки на каждой гирлянде изоляторов одновременно нескольких индикаторов, использования при осмотрах оптических приборов наблюдения и систем воздушного мониторинга. При разработке промышленных образцов индикаторов также должны быть решены проблемы устойчивости их к загрязнениям и неблагоприятным погодным условиям, грозовым и коммутационным перенапряжениям [14].

2. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

С целью проведения исследований мы использовали готовую установку в лаборатории ФГБОУ ВО «КГЭУ», корпуса А, ауд.305а:

- источника высокого напряжения АИД-70М (максимальное переменное напряжение 50 кВ) (поз. 1);
- испытуемого стеклянного ВИ (ПС70Е) (поз. 2);
- контактного датчика для измерения кажущегося заряда электрическим методом (поз. 3);
- ЭМ приемника микросхемного исполнения, измеряющего средний уровень мощности ЭМ излучения (модуль E70-868T14S2 [15], диапазон частот 861-876 МГц) (поз. 4);
- сканирующего широкополосного приемника стационарного типа AOR AR5001D (супергетеродинный радиоприёмник) (поз. 5);
- датчика фазы сетевого напряжения (поз. 6);
- цифрового осциллографа (поз. 7) TBS2204B;
- АЦП (National Instruments USB-6351) и ПК с разработанным ПО (поз. 8);
- калибратора кажущегося заряда для калибровки измерительной системы (поз. 9) CAL1B;
- датчика температуры и влажности (поз. 10) (CENTER 310).

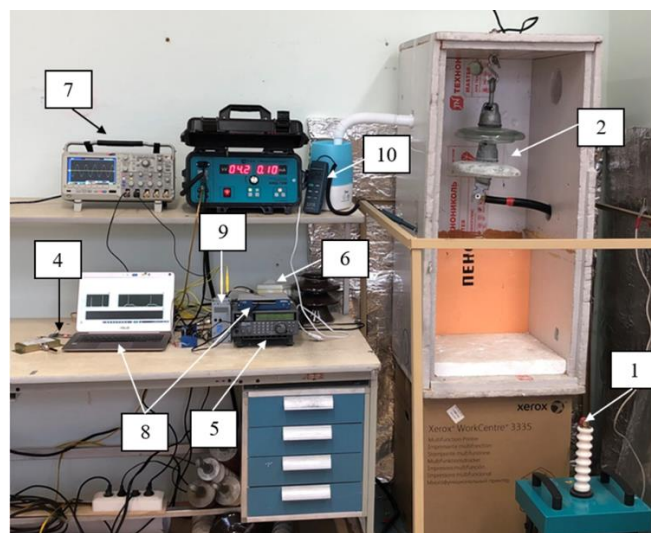
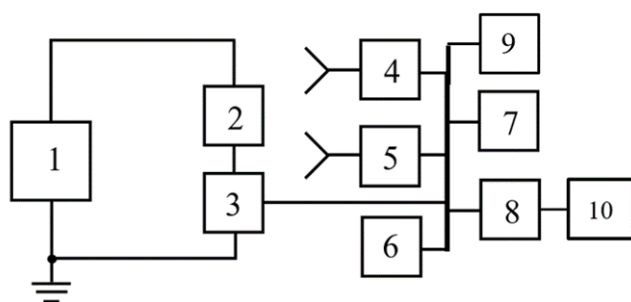


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

Схема проведения измерений посредством электрического метода представлена на рис. 3. Измерительный элемент (датчик) в цепи расположен со стороны заземления испытуемого объекта. В этом случае низковольтная сторона испытуемого объекта должна иметь возможность быть изолированной от земли.

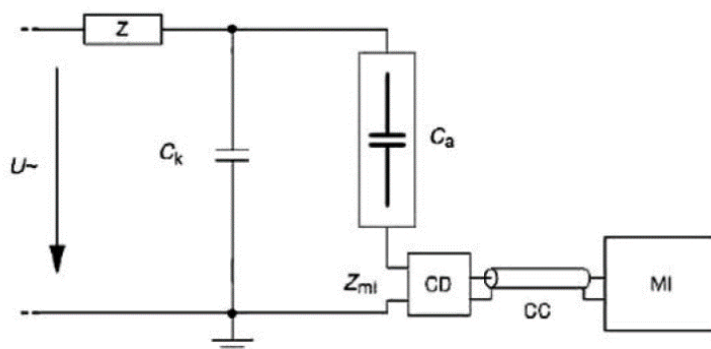


Рис. 3. Схема электрического метода

($U_{\sim}$ – источник высокого напряжения; Z_{mi} – входной импеданс измерительной системы; CC – соединительный кабель; OL – оптический канал; C_a - испытуемый объект; C_k – конденсатор связи; CD – измерительный элемент; MI - измерительный прибор; Z – фильтр) .

После добавление радиоприемника, датчика фазы, антенны и персонального компьютера (ПК) со специализированным программным обеспечением (ПО) мы получили измерительное устройство, позволяющее регистрировать ЧР.

В качестве установки мы использовали готовую установку в лаборатории ФГБОУ ВО «КГЭУ», корпуса А, ауд.305а, состоящую из аппарата испытания диэлектриков АИД-70М (Рис. 4) предназначен для измерения электрической прочности изоляции силовых высоковольтных кабелей, различных электроизоляционных материалов, а также устройств, работающих в составе электрических установок высокого напряжения.



Рис. 4. Аппарат испытания диэлектриков АИД-70М

Для экспериментов были взяты следующие изоляторы - Стекланные ПС70Е, Полимерные ЛК707, Фарфоровые ИП10-3.75ТК.

С помощью ГОСТ 10390-2015 были загрязнены изоляторы, которые представлены ниже.



Рис. 5. Чистый и загрязненный изолятор ИП10-3.75ТК, фарфоровые



Рис. 6. Чистый и загрязненный изолятор ЛК707, полимерные



Рис. 7. Чистый и загрязненный изолятор ПС70Е, стеклянные

Далее, было подано напряжение через сеть на изоляторы. Электрическим методом с помощью осциллографа измерялась амплитуда кажущегося заряда на контактном датчике (поз. 3) и фаза сетевого напряжения с помощью датчика фазы.

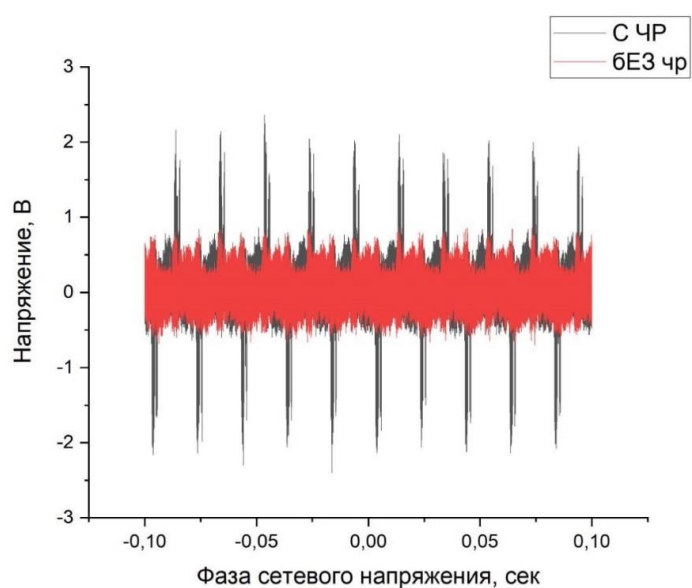


Рис. 8. Распределение ЧР относительно 0.1 сек. сетевого напряжения
(10 периодов сетевого напряжения)

График на рис. 8 показывает, что при трех различных типов изоляторов, частичные разряды возникают именно на загрязненных.

Мы выяснили, как оседают различного рода загрязнения на изоляторы, путем загрязнения по ГОСТ 10390-2015 в г. Казань. Также были проведены работы с аппаратом испытания диэлектриков АИД-70М, на основании которого можно было наглядно посмотреть, как ведут себя ЧР в изоляторах.

3. РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

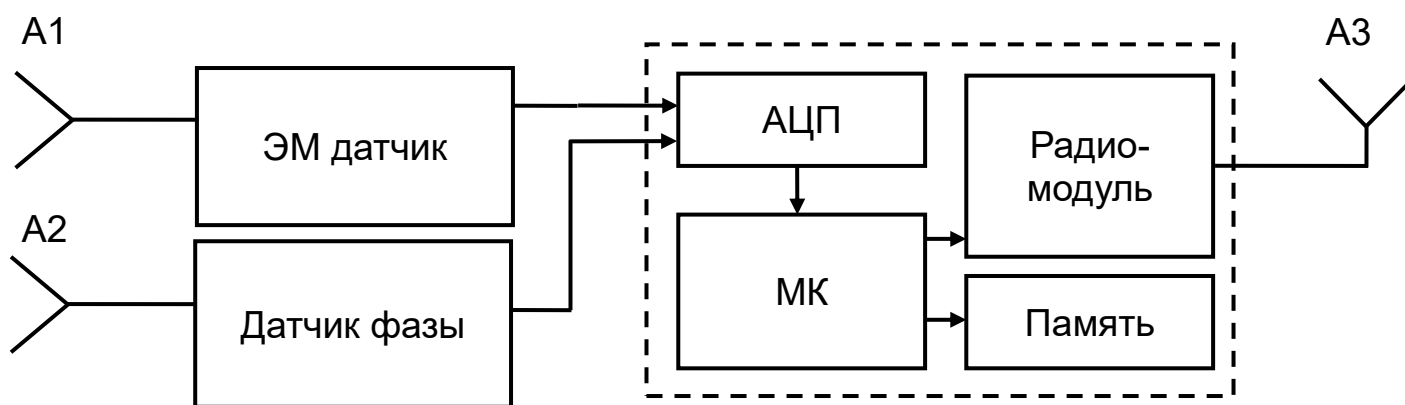


Рис. 9. Блок-схема бесконтактного диагностического устройства

ЧР являются результатом возникновения в процессе эксплуатации локальных повышений напряженности электрического поля, которые могут превышать электрическую прочность высоковольтного изолятора (ВИ). Внутри ВИ они могут появиться в трещинах или внутреннем структурном дефекте. Для определения дефектного ВИ необходимо:

1. Получить данные о наличии ЧР в изоляторе и их характеристиках (количество, интенсивность, временные/фазовые интервалы и т. д.).
2. Обработать полученные данные (отфильтровать от шумовых помех, провести анализ).

3. Выявить тип неисправности ВИ, который вызывает возникновение измеренных ЧР. Для проведения мониторинга ВИ предусматривается создание бесконтактного диагностического устройства (БДУ) на основе комплексного дистанционного метода диагностики текущего рабочего состояния керамических и полимерных изоляторов посредством одновременной регистрации набора диагностических параметров перестраиваемым по частоте электромагнитным (50 МГц – 1 ГГц) приемником. БДУ устанавливаются на каждый фазный провод на одинаковом расстоянии от изолятора соответствующей фазы. БДУ позволяет регистрировать электромагнитное излучение, создаваемое электрическим разрядом, и определять фазу напряжения (рис. 9). Информационные сигналы с БДУ совместно подвергаются накоплению и компьютерной обработке, что значительно повышает надежность определения технического состояния и выявления остаточного ресурса.



Рис. 10. Внешний вид устройств

Разработанные диагностический устройства установлены на учебном полигоне, на подстанции 110/10 кВ на территории КГЭУ и проходят испытания.

Диагностирование наличия частичных разрядов в изоляции и определение их местоположения с помощью бесконтактных диагностических устройств, устанавливаемых на фазных проводах, позволит обнаруживать дефекты на ранних

стадиях появления, определять какой именно высоковольтный изолятор имеет дефект, и спрогнозировать остаточный ресурс ВИ. Эти сведения энергетические компании смогут получать дистанционно и заблаговременно планировать ремонт или замену оборудования, что значительно повысит экономическую эффективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причиной частичных разрядов по поверхности изолятора могут служить загрязнения, повреждения или дефекты поверхности изолятора. Также могут возникать дуговые разряды, когда одни области изолятора влажные, а другие сухие. Поверхностные разряды приводят к повреждению главным образом органических изоляционных материалов. В конечном итоге они могут привести к пробое всего изолятора.

В связи с этим в работе были проведены исследования влияния загрязнения на пробивное напряжение различных типов изоляторов. Способ загрязнения был определен с помощью ГОСТ 10390-2015 и с учетом уровня загрязнений атмосферы города Казань. Загрязнялись три типа изоляторов: стеклянные, полимерные и фарфоровые и сравнивались результаты загрязненного и чистого изоляторов. Было выявлено, что загрязненные изоляторы сильно подвержены пробоем, и проявляются появлением частичных разрядов.

На основе этого была разработана дистанционная система диагностики загрязнений высоковольтных изоляторов, которая устанавливается на каждом фазном проводе и регистрирует электромагнитное излучение от частичных разрядов. Система позволит предупреждать о сильном загрязнении и при аварийных ситуациях на ЛЭП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Главные проблемы, связанные с экологией в Республике Татарстан // 2021 [Электронный ресурс]: <https://ecologanna.ru/ekologicheskie-problemy/glavnye-problemy-svyazannye-s-ekologiej-v-respublike-tatarstan>.
2. Загрязнение изоляторов // 2021 [Электронный ресурс]: <https://ru-ecology.info/post/102241401590002/>
3. Изоляция линий и подстанций в районах с загрязненной атмосферой / С.Д. Мерхалев, Е.А. Соломоник / Энергия / Ленинградское отделение – 1973.
4. Ердыбаева, Н. К. Влияние загрязнения атмосферы на срок службы стеклянных изоляторов / Н. К. Ердыбаева, А. А. Кунапиянова // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2016. – № 1. – С. 39-45.
5. Полимерная изоляция для наружного применения высокого напряжения – гл. 7.11// Энциклопедия физической науки и техники (третье издание), 2003
6. Испытания изоляции повышенным напряжением, тема 05 // Институт энергетики и управления энергетическими ресурсами АПК// Испытания электрооборудования, электронный учебно-методический комплекс, 2014
7. Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Иванов Д.А., Марданов Г.Д., Семенников А.В., Ваньков Ю.В. Комплексная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83. № 12. С. 1651-1654.
8. ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000). Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов (High voltage test techniques Partial discharge measurements). Введ. 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2014.
9. Пат.2679759 РФ. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов / В.А. Голенищев-Кутузов, А.В.Голенищев-Кутузов, Д.А. Иванов, Г.Д. Марданов, А.В. Семенников. № 2018110016, заявл.21.03.2018, опубл.12.02.2019.

10. Пат. 2058559 РФ. Способ бесконтактного и дистанционного контроля электропрочности гирлянд изоляторов воздушных высоковольтных линий электропередачи / Н.М. Шмидт, И.М. Шмидт. № 93045793/28 , заявл. 16.09.1993, опубл. 20.04.1996.

11. Пат. 2566391 РФ. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных полимерных изоляторов / А.М. Гатауллин. № 2014135317/28, заявл. 28.08.2014 , опубл. 27.10.2015..

12. Пат. 2753811 РФ. Способ и устройство бесконтактного дистанционного контроля технического состояния высоковольтных линейных изоляторов воздушных линий электропередач / В.И. Катков, Ю.К. Евдокимов, Р.К. Сагдиев, Г.П. Охоткин. №2020126832, опубл.23.08.21.

13. Климат Казани и его изменения в современный период / Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский, Р.Б. Шафикова. – Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. – 216 с.

14. Климат и загрязнение атмосферы в Татарстане / [Ю. П. Переведенцев, Е. И. Игонин, А. П. Шлычков и др.]; М-во охраны окружающей среды и природ. ресурсов Респ. Татарстан и др. - Казань : Изд-во Казан. ун-та : Центр экспертизы и маркетинга Казан. гос. ун-та, 1995. - 155 с.

15. Анализ рынка изоляторов электрических в России. Агентство DISCOVERY Research Group. 24.12.2021. 113 с..

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования



КГЭУ

«КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

ПРОРЕКТОР
ПО РАЗВИТИЮ И ИННОВАЦИЯМ

Кремлевская ул., д. 51, Казань, 420066
тел./факс (8-843) 519-43-55, 527-92-54
E-mail: kgeu@kgeu.ru; http://www.kgeu.ru

На конкурс НИР на соискание
именных стипендий Мэра
г. Казани среди студентов и
аспирантов

08.11.2022 № 1010-ДВ/2418

На № _____ от _____

Справка

Дана студенту группы ПЭ-2-20 кафедры «Промышленная электроника» Казанского государственного энергетического университета Малаевой Е. Д. о том, что разработанное им «Исследование влияния загрязнения высоковольтной воздушной изоляции на пробивное напряжение в г. Казань» может быть использовано в учебном процессе по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника».

Проректор по развитию и инновациям

И.Г. Ахметова

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022684768

**Программа управления контрольной панелью для
автоматизированной системы диагностики и
устранения гололедообразования на линиях
электропередачи**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Казанский
государственный энергетический университет» (RU)*

Авторы: *Арсланов Амир Динарович (RU), Малаева Ева Денисовна
(RU), Хамидуллин Ильдар Ниязович (RU), Мочалов Николай
Сергеевич (RU), Садыков Марат Фердинандович (RU),
Ярославский Данил Александрович (RU), Иванов Дмитрий
Алексеевич (RU)*



Заявка № 2022684515

Дата поступления 13 декабря 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 16 декабря 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

М.П. Федеральной службы по интеллектуальной
собственности (ФИПС) / Министерство
цифрового развития, связи и массовых
коммуникаций Российской Федерации

Ю.С. Зубов