

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ОДНОЭЛЕМЕНТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ

Изолятор — электротехническое устройство, предназначенное для электрической изоляции и механического крепления электроустановок или их отдельных частей, находящихся под разными электрическими потенциалами. Являясь элементом энергосистемы, выполняет важную роль в обеспечении ее надежного функционирования. В настоящее время вопрос осуществления диагностики и мониторинга изоляторов по-прежнему остается актуальным. В статье приведены статистические данные отказов на воздушных линиях и перечислены методы и устройства для обнаружения повреждения изоляции. Проблема исследования заключается в отсутствии надежного и экономически эффективного устройства для заблаговременного определения разрушения изолятора под напряжением. Решением является ранее предложенный метод диагностики одноэлементных изоляторов по температуре. Автором предложена схема диагностического устройства, описан ее принцип работы в нормальном и аварийном режимах. Диагностическое устройство, выполненное по предложенной схеме, простое, работает под напряжением и без вмешательства эксплуатационного персонала.

Ключевые слова: изолятор, температура, мониторинг, диагностика, устройство, компаратор.

Введение. Электроэнергия стала неотъемлемой частью нашей жизни. Для выработки и передачи её используют целые энергетические комплексы, которые состоят из разных элементов. Для осуществления бесперебойной передачи энергии необходимо поддерживать их надёжную работу. Своевременно выявить неисправность в элементах сети можно с помощью технической диагностики. Она позволяет определить остаточный срок службы изоляции, спрогнозировать развитие дефекта, вычислить место его возникновения.

По статистическим данным [1] отказы на воздушных линиях (ВЛ) возникают из-за износа и старения элементов ВЛ, а также воздействия окружающей среды на них. Снижение электрической прочности изоляции часто возникает вследствие экстремальных погодных условий: интенсивности грозовой деятельности, воздействия гололедно-ветровых нагрузок, повышения температуры воздуха. Летом возникновение аварийных ситуаций происходит в 2–3 раза чаще, чем зимой [2].

В период цифровизации и автоматизации энергокомплекса актуально производить обследование элементов ВЛ во время эксплуатации без перерыва передачи электроэнергии.

В связи с этим научные работы направлены на разработку различных способов и устройств диагностики и мониторинга технического состояния элементов ВЛ [3–5].

Для обнаружения развивающихся дефектов и определения остаточного ресурса изоляции используют следующие методы:

— периодические и внеочередные визуальные осмотры [6, 7], которые проводят согласно требованиям Правил и должны соответствовать Правилам организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики [8, 9]. В ходе проведения визуальных дистанционных осмотров используют ультрафиолетовые дефектоскопы: ФИЛИН-6 [10], DayCor Luminar HD, тепловизоры «Сосна», Testo 885 [11], Flir T640, ThermoCAM, а также пирометры. Однако данные приборы не дают точных данных о состоянии изоляции и требуют соблюдения определенных условий во время измерения, что усложняет процесс диагностики;

— измерение угла диэлектрических потерь $\tan\delta$ [12, 13];

— измерение распределения напряжения, которые проводят с использованием штанги или мегаомметра и не позволяют выявить скрытые дефекты изоляции;

— измерение частичных разрядов в изоляции. Недавно разработанный метод, который широко развивается и осваивается [14, 15];

— измерение тока утечки [16, 17];

— измерение ёмкости [18];

— испытания повышенным напряжением [19].

Таким образом, вопрос диагностики и мониторинга состояния изоляции по сей день остаётся актуальным.

Постановка задачи. Проблема исследования заключается в определении предпробойного состояния изолятора во время его работы. Это целесообразно сделать, измеряя температуры изо-

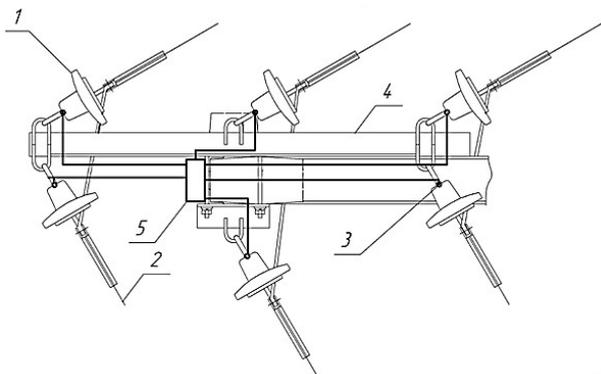


Рис. 1. Устройство для ВЛЭП, реализующее способ диагностики одноэлементных подвесных изоляторов (1 — подвесной изолятор, 2 — линейный провод ВЛЭП, 3 — датчик температуры, 4 — траверса, 5 — ДУ)

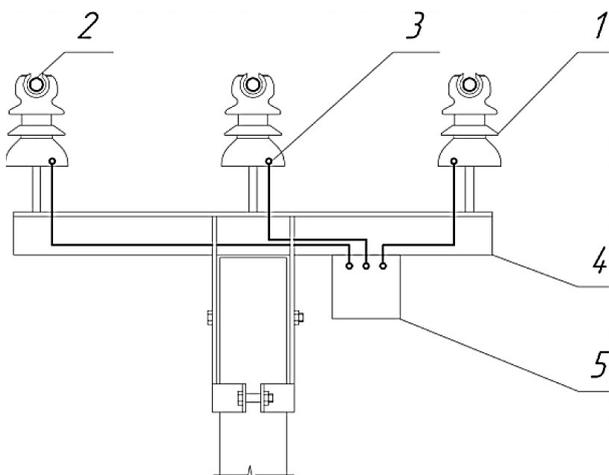


Рис. 2. Устройство для одноэлементных штыревых и опорных изоляторов (1 — штыревой изолятор, 2 — линейный провод ВЛЭП, 3 — датчик температуры, 4 — траверса, 5 — ДУ)

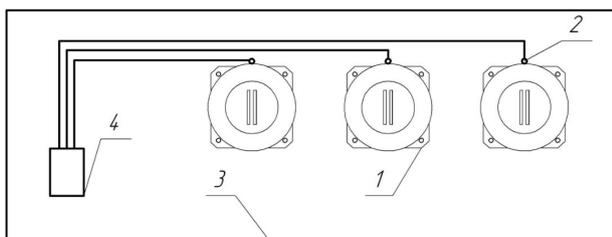


Рис. 3. Устройство для ВЛЭП, реализующее способ диагностики одноэлементных проходных изоляторов (1 — проходной изолятор, 2 — датчик температуры, 3 — стена, 4 — ДУ)

ляторов каждой фазы и сравнивая их между собой.

Для её устранения авторами ранее был предложен способ диагностики состояния одноэлементных изоляторов по температуре для класса напряжения 6–35 кВ [20]. Задачей устройства является простое и надежное определение поврежденного изолятора с учетом внешних погодных условий за счет сравнения температуры изоляторов, расположенных на одной опоре и находящихся в одинаковых условиях. Сигнал о предпробойном состоянии при достижении выше критической температуры изолято-

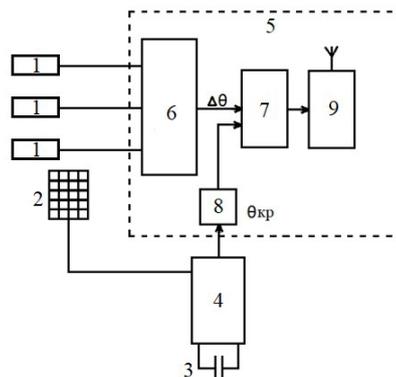


Рис. 4. Укрупнённая схема устройства диагностики (1 — датчик температуры, 2 — солнечная панель, 3 — источник, 4 — блок питания, 5 — ДУ, включающее в себя 6 — максиселектор, 7 — схема сравнения, 8 — эталон, 9 — передатчик)

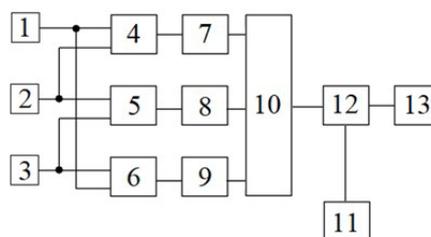


Рис. 5. Структурная схема диагностического устройства

ра передаётся только в момент его возникновения в диспетчерский пункт.

Устройство и принцип его работы. Устройство диагностики одноэлементных подвесных (рис. 1), штыревых и опорных (рис. 2), а также проходных (рис. 3) изоляторов является универсальным и состоит из датчиков температуры, которые располагаются на изоляторах со стороны траверсы (нулевого потенциала) и диагностического устройства (ДУ). Три сигнала, полученных с датчиков температуры, расположенных на изоляторах, сравниваются между собой в ДУ. Полученная наибольшая разница температур сравнивается с выставленной уставкой. При превышении её передаётся сигнал эксплуатационному персоналу, что означает наличие развития дефекта в изоляции [20]. Для изоляторов из разных материалов требуются разные уставки по температуре, которые следует уточнить в дальнейших исследованиях.

Была предложена укрупнённая схема [21] устройства диагностики (рис. 4).

Разработка схемы диагностического устройства и принцип его работы. В соответствии с [21] была разработана структурная схема диагностического устройства, представленная на рис. 5, где 1, 2, 3 — датчики температуры фаз А, В и С одноэлементных изоляторов соответственно; 4, 5, 6 — вычитатели, которые определяют попарную разницу температур между изоляторами фаз А–В; В–С; С–А; 7, 8, 9 — блоки вычисления модуля значений попарных разниц температур между изоляторами фаз А–В; В–С; С–А; 10 — максиселектор, сравнивающий значения модулей разниц температур между изо-

Таблица 1

Оценочная таблица температурных дефектов в изоляторах

Диапазон значений, °C	Оценка дефекта
$0 < \Delta T < 1$	Норма (отсутствие дефекта).
$1 \leq \Delta T \leq 5$	Наличие дефекта в самой ранней стадии развития. Требуется наблюдение и учёт при очередной диагностике для изучения времени развития дефекта.
$5 \leq \Delta T \leq 35$	Наличие дефекта в начальной стадии развития. Требуется принятие мер при очередном текущем ремонте.
$35 \leq \Delta T \leq 85$	Наличие сильно развитого дефекта. Требуется принятие мер по устранению дефекта в течение 1 месяца.
$\Delta T > 85$	Дефект в аварийной стадии развития. Требуется принятие мер немедленно в сроки, не превышающие 1 месяца.

ляторами и определяющий наибольшую; 11 — блок уставок; 12 — компаратор, сравнивающий наибольшую разницу температур между изоляторами с уставкой, 13 — исполнительный орган.

Рассмотрим на примере принцип работы диагностического устройства в нормальном режиме. Допустим, что температура изолятора фазы А равна 2 °C, тогда это же значение будет отображено на соответствующем датчике температуры 1, закреплённом на фазе А ($t_A = 2$ °C). Температура изолятора фазы В 3 °C ($t_B = 3$ °C), фазы С 0 °C ($t_C = 0$ °C). Далее в вычитателях 4, 5, 6 определяется соответственно попарная разница температур между изоляторами:

$$\Delta T_{A-B} = t_A - t_B = 2 - 3 = -1 \text{ °C},$$

$$\Delta T_{B-C} = t_B - t_C = 3 - 0 = 3 \text{ °C},$$

$$\Delta T_{C-A} = t_C - t_A = 0 - 2 = -2 \text{ °C}.$$

После полученные значения поступают в соответствующие блоки 7, 8, 9, где определяется модуль ранее вычисленных разностей фаз:

$$|\Delta T_{A-B}| = |-1| = 1 \text{ °C},$$

$$|\Delta T_{B-C}| = |3| = 3 \text{ °C},$$

$$|\Delta T_{C-A}| = |-2| = 2 \text{ °C}.$$

Затем в максиселекторе 10 определяется наибольшая разница температур, которая поступает на компаратор 12. В блоке уставок 11 сформирована величина, соответствующая критическому значению разности температур фаз изоляторов, при которых начинают происходить большие токи утечек. В данном случае, например, задано значение уставки 5 °C, что, в соответствии с табл. 1 [22], является значением, при котором у изолятора имеется дефект в самой ранней стадии развития. В компараторе 12 сравниваются сигнал, поступивший от максиселектора с уставкой 11. В данном примере, т.к. $3 \text{ °C} < 5 \text{ °C}$, то значение уставки не превышено, следовательно, блок 13 не сработает и диагностическое устройство не передаст сигнал эксплуатационному персоналу.

В аварийном режиме, когда повреждается изолятор фазы С, примем следующие значения: $t_A = 30$ °C, $t_B = 31$ °C, $t_C = 50$ °C. Тогда разница температур:

$$\Delta T_{A-B} = t_A - t_B = 30 - 31 = -1 \text{ °C},$$

$$\Delta T_{B-C} = t_B - t_C = 31 - 50 = -19 \text{ °C},$$

$$\Delta T_{C-A} = t_C - t_A = 50 - 30 = 20 \text{ °C}.$$

Модули ранее вычисленных разностей фаз определенные в блоках 7, 8, 9:

$$|\Delta T_{A-B}| = |-1| = 1 \text{ °C},$$

$$|\Delta T_{B-C}| = |-19| = 19 \text{ °C},$$

$$|\Delta T_{C-A}| = |20| = 20 \text{ °C}.$$

В максиселекторе 10 определяется наибольшая разница температур, поступающая на компаратор 12, в котором сравнивается сигнал с уставкой 11. В данном случае $20 \text{ °C} > 5 \text{ °C}$, поэтому сработает диагностическое устройство и сигнал поступит эксплуатационному персоналу. Таким образом, изолятор имеет дефект в начальной стадии развития и требуется принятие мер при очередном текущем ремонте в соответствии с [22], в котором приведены данные по температурным зависимостям нормального и дефектного состояния изоляторов. Исходя из них, можно судить об изоляционных свойствах материала (табл. 1).

Расчет питания диагностического устройства на солнечном элементе. Устройство диагностики построено на операционных усилителях с микропотреблением и с током 3 мА при питании $U_{\text{п}} = 9 \dots 12$ В. Поэтому в течение суток в ждущем режиме потребляемая энергия составит:

$$A_{\text{пот}} = U_{\text{п}} \cdot I_{\text{пот}} \cdot t_{\text{сут}} = 10 \cdot 0,003 \cdot 24 = 0,72 \text{ Вт}\cdot\text{час}. \quad (1)$$

Таким образом, при соединении двух солнечных элементов с параметрами $U_{\text{п}} = 5$ В, $P_{\text{п}} = 0,4$ Вт последовательно они могут обеспечить $U_{\text{п}} = 10$ В при токе зарядки $I_{\text{пот}} = 0,4/5 = 80$ мА. Учитывая, что самый короткий солнечный день в Омской области составляет 7 часов 10 мин и то, что Солнце с эффективным КПД бывает в это время около 5 часов, рассчитаем, какую энергию можем получить от этих элементов по формуле (1):

$$A_{\text{пот}} = U_{\text{п}} \cdot I_{\text{пот}} \cdot t_{\text{сут}} = 10 \cdot 0,08 \cdot 5 = 4 \text{ Вт}\cdot\text{час},$$

что почти с 4-кратным запасом перекрывает требуемый суточный диапазон.

Выберем ионистор СИОН, необходимый для накопления и хранения энергии. Из формулы (2)

$$A_{\text{хран}} = (C_{\text{ион}} \cdot (U_{\text{п}})^2) / 2 \quad (2)$$

найдем минимально необходимую емкость ионистора, учитывая, что $1 \text{ Вт}\cdot\text{час} = 3600 \text{ Дж}$:

$$C_{\text{ион}} = (2 \cdot A_{\text{хран}}) / (U_{\text{п}})^2 = (2 \cdot 1 \cdot 3600) / 100 = 72 \text{ Ф}.$$

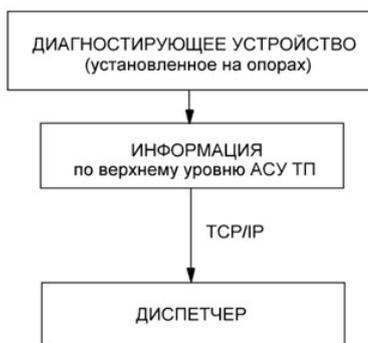


Рис. 6. Схема передачи данных эксплуатационному персоналу

Для этой цели можно использовать ионистор или аккумулятор напряжением 12 В и емкостью не менее $C_{AK} = 1,5$ А·час.

Для передачи информации эксплуатационному персоналу могут быть использованы все существующие виды и протоколы передачи данных посредством преобразования сигнала и выводом его на верхний уровень (рис. 6), согласно МЭК 870-5-104 [23]. Например, можно использовать канал сотового оператора в виде одноразового sms-сообщения, которое передается в момент срабатывания ДУ.

Заключение. С использованием представленного диагностического устройства для одноэлементных изоляторов ВЛЭП по температуре возможно постоянное контролирование их состояния для обнаружения дефектов на ранних стадиях и своевременной замены перед возникновением повреждений. Преимущество данного диагностического устройства — относительная простота и его работа под напряжением без вмешательства эксплуатационного персонала.

Таким образом, предложенная схема диагностического устройства является одним из вариантов решения для создания устройства удаленной бесконтактной системы диагностики изоляторов, которая может быть применена на воздушной линии электропередачи (Smart Grid), управление которой производится на подстанции (цифровая подстанция). Благодаря непрерывному мониторингу состояния изоляции в реальном времени, можно своевременно принимать различные меры для осуществления нормального функционирования энергосистемы.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (Договор 915ГССС15-L/80877 от 15.12.2022).

Библиографический список

- Ахмадеев А. А. Анализ причин аварийных отключений воздушных линий электропередач и мероприятия по их снижению // Тинчуринские чтения: материалы XIV Междунар. молодеж. науч. конф. В 3 т. Казань: Изд-во КГЭУ, 2019. Т. 1, № 2. С. 258–263. EDN: RAHOFT.
- Белов С. И., Петров П. С. Прогнозирование аварийных отключений в электрических сетях 35–220 кВ // Агроинженерия. 2017. № 4 (80). С. 77–82. EDN: ZEGBNF.
- Иванов Д. А., Садыков М. Ф., Ярославский Д. А. [и др.]. Система контроля акустического излучения разрядных процессов на электрической подстанции для целей диагностики технического состояния изоляционного оборудования // Из-

вестия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85, № 11. С. 1596–1599. DOI: 10.31857/S0367676521110120. EDN: QJXROU.

- Иванов Д. А., Голенищев-Кутузов А. В., Галиева Т. Г. [и др.]. Система мониторинга состояния высоковольтной изоляции // Состояние и перспективы развития электро- и тепло-технологии (XXI Бенардосовские чтения): материалы Междунар. науч.-тех. конф., посвященной 140-летию изобретения электросварки Н. Н. Бенардосом, Иваново, 02–04 июня 2021 г. Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2021. Т. 1. С. 81–84. EDN: MGISFM.
- Han Z., Hu J., He J. Online Monitoring of Insulator Failure Using Micro Electric-field Sensor // 2023 IEEE 4th International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE). Shanghai, 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICEMPE57831.2023.10139364.
- Сизых Ю. А. Новый стандарт ГОСТ Р 58087-2018 «Паспорт воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше» // Энергоэксперт. 2018. № 4 (68). С. 58–61. EDN: NHSEDZ.
- РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ: утв. PAO «ЕЭС России» 19.09.1994. Москва: НЦ ЭНАС, 2017. 200 с. ISBN 5-93196-369-3.
- Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказ Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757, от 12 июля 2018 г. № 548: приказ Министерства энергетики РФ от 04.10.2022 г. № 10170. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
- Об утверждении Правил технического обслуживания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики и внесении изменений в требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики», утвержденные приказом Минэнерго России от 25 октября 2017 г. № 1013: приказ Министерства энергетики РФ от 13.07.2020 г. № 555. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
- Волков В. Г., Гиндин П. Д., Карпов В. В. [и др.]. Оптические приборы с рабочим ультрафиолетовым диапазоном спектра // Контенант. 2019. Т. 18, № 1–1. С. 61–74. EDN: IOVUCP.
- Мараев А. М. Диагностика изоляторов и жил токопроводов с помощью УФ-дефектоскопа и тепловизора // Энергоэксперт. 2020. № 1 (73). С. 68–71. EDN: SBRGXI.
- Dolnik B., Šárpatky L., Havranet P. [et al.]. Sensing method using multiple quantities for diagnostic of insulators in different ambient conditions // Sensors. 2022. Vol. 22, no. 4. P. 1376. DOI: 10.3390/s22041376.
- Bashir N., Ahmad H., Suddin M. S. Ageing studies on transmission line glass insulators using dielectric dissipation factor test // 2010 Conference Proceedings IPEC. Singapore, 2010. P. 1062–1066. DOI: 10.1109/IPECON.2010.5696973.
- Gataullin A. M. Insulators electrical strength estimation under AC applied voltage // 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, Chelyabinsk, 2019. P. 35–39. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877654.
- Поляков Д. А., Никитин К. И., Терещенко Н. А. [и др.]. Исследование частичных разрядов в опорных изоляторах // Омский научный вестник. 2020. № 1 (169). С. 32–38. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-32-38. EDN: IDVJOF.
- Putra N. R. M., Sartika N., Rachmawati R. The study on leakage current waveform characteristics and computer simulation of ceramic insulator under artificial tropical condition // 2018 12th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM). IEEE, Xi'an, 2018. P. 320–323. DOI: 10.1109/ICPADM.2018.8401273.
- Пат. 219963 Российская Федерация, МПК H 01 C 13/00. Конструкция резистивного датчика для диагностики опорных

и штыревых изоляторов воздушной линии электропередачи / Терещенко Н. А., Мирошник В. Ю., Поляков Д. А., Никитин К. И. № 2023105800; заявл. 14.03.23; опубл. 16.08.23, Бюл. № 23.

18. Андреевков Е. С., Шунаев С. А. Разработка конструкции датчика напряжения для системы диагностики подвешенной изоляции линий электропередач 110 кВ // Вестник МЭИ. 2017. № 6. С. 54–59. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-54-59. EDN: ZWYUOJ.

19. Методика испытания воздушных линий электропередачи до 10 кВ. URL: <https://23etl.ru/metodica-ispitanie-vozdushnih-linij/> (дата обращения: 27.08.2023).

20. Пат. 2788070 Российская Федерация, МПК G01R 31/50. Способ диагностики одноэлементных изоляторов ВЛЭП и устройство для его реализации / Терещенко Н. А., Мирошник В. Ю., Поляков Д. А., Никитин К. И. № 2022105467; заявл. 01.03.22; опубл. 16.01.23, Бюл. № 2.

21. Терещенко Н. А., Холмов М. А., Трофименко С. В. [и др.]. Устройство диагностики одноэлементных изоляторов ВЛЭП по температуре // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Омск, 25–27 мая 2022 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2022. С. 78–82. EDN: DOTOBG.

22. Поляков В. С. Технологии тепловизионной диагностики электрооборудования и опыт их использования. Санкт-Петербург: Изд-во ПЭИПК, 1997. 23 с.

23. ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей. Введ. 2005–07–01. Москва: Стандартинформ, 2004. 46 с.

ТЕРЕЩЕНКО Надежда Андреевна, аспирант кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 4017-2286

AuthorID (РИНЦ): 947723

AuthorID (SCOPUS): 57216615006

Адрес для переписки: nadezhda.tereshchenko@mail.ru

Для цитирования

Терещенко Н. А. Диагностическое устройство одноэлементных изоляторов воздушной линии электропередачи по температуре // Омский научный вестник. 2024. № 1 (189). С. 103–109. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-103-109.

Статья поступила в редакцию 28.08.2023 г.

© Н. А. Терещенко

DIAGNOSTIC DEVICE OF SINGLE-ELEMENT INSULATORS OF OVERHEAD TRANSMISSION LINE BY TEMPERATURE

Insulator, electrical device designed for electrical isolation and mechanical fastening of electrical installations or their separate parts, which are under different electrical potentials. As an element of the power system, it plays an important role in ensuring its reliable operation. At present the issue of diagnostics and monitoring of insulators is still topical. The article provides statistical data of failures on overhead lines and lists methods and devices for detecting insulation damage. The research problem is the lack of a reliable and cost-effective device for early detection of insulator failure under voltage. The solution is the previously proposed method of diagnosing single-element insulators by temperature. The author proposed a scheme of the diagnostic device, described its principle of operation in normal and emergency modes. The diagnostic device made according to the proposed scheme is simple, works under voltage and without the intervention of operating personnel.

Keywords: insulator, temperature, monitoring, diagnostics, device, comparator.

Acknowledgments

The work is carried out with the support of the Innovation Promotion Fund (Agreement 915ГССС15-L/80877 dated December 15, 2022).

References

1. Akhmedeyev A. A. Analiz prichin avariynykh otklyucheniyy vozdushnykh liniy elektroperedach i meropriyatiya po ikh snizheniyu [Analysis of the causes of emergency shutdowns of overhead power lines and measures to reduce them] // *Tinchurinskiye Chteniya. Tinchurin Readings*. In 3 vols. Kazan, 2019. Vol. 1, no. 2. P. 258–263. EDN: RAHOFT. (In Russ.).
2. Belov S. I., Petrov P. S. Prognozirovaniye avariynykh otklyucheniyy v elektricheskikh setyakh 35–220 kV [Forecasting emergency disconnections in power networks of 35–220 kv] // *Agroinzheneriya. Agroengineering*. 2017. No. 4 (80). P. 77–82. (In Russ.).
3. Ivanov D. A., Sadykov M. F., Yaroslavskiy D. A. [et al.]. Sistema kontrolya akusticheskogo izlucheniya razryadnykh protsessov na elektricheskoy podstantsii dlya tseley diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya izolyatsionnogo oborudovaniya [System for monitoring the acoustic radiation of discharge processes at an electric substation to diagnose the technical state of insulators] // *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2021. Vol. 85, no. 11. P. 1596–1599. DOI: 10.31857/S0367676521110120. EDN: QJXROU. (In Russ.).
4. Ivanov D. A., Golenishchev-Kutuzov A. V., Galiyeva T. G. [et al.]. Sistema monitoringa sostoyaniya vysokovol'tnoy izolyatsii [Monitoring system of the high voltage insulation condition] // *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya elektro- i teplotekhnologii (XXI Benardosovskiy chteniya). State and Prospects for the Development of Electrical and Thermal Technology (XXI Benardos Readings)*. Ivanovo, 2021. Vol. 1. P. 81–84. EDN: MGISFM. (In Russ.).
5. Han Z., Hu J., He J. Online Monitoring of Insulator Failure Using Micro Electric-field Sensor // 2023 IEEE 4th International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE). Shanghai, 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICEMPE57831.2023.10139364. (In Engl.).
6. Sizykh Yu. A. Novyy standart GOST R 58087-2018 «Pasport vozdushnykh liniy elektroperedachi napryazheniyem 35 kV i vyshe» [New standard GOST R 58087-2018 «Passport of overhead power lines with voltage of 35 kV and above»] // *Energoekspert. Energyexpert*. 2018. No. 4 (68). P. 58–61. (In Russ.).
7. Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsii vozdushnykh liniy elektroperedachi napryazheniyem 35–800 kV. Moscow, 2017. 200 p. ISBN 5-93196-369-3. (In Russ.).
8. Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii elektricheskikh stantsiy i setey Rossiyskoy Federatsii i o vnesenii izmeneniy v prikazy Min•energo Rossii ot 13 Sentyabrya 2018 g. No. 757: prikaz Ministerstva energetiki RF ot 04.10.2022 g. No. 10170 [On approval of the Rules for the technical operation of power plants and networks of the Russian Federation and on amendments to the orders of the Ministry of Energy of Russia dated September 13, 2018 No. 757: Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated October 4, 2022. No. 10170]. Available at «Consultant Plus» System. (In Russ.).
9. Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv i kompleksov releynoy zashchity i avtomatiki i vnesenii izmeneniy v trebovaniya k obespecheniyu nadezhnosti elektroenergeticheskikh sistem, nadezhnosti i bezopasnosti ob'yektov elektroenergetiki i energoprimimayushchikh ustanovok «Pravila organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta ob'yektov elektroenergetiki», utverzhdennyye prikazom Min•energo Rossii ot 25 Oktyabrya 2017 g. No. 1013: prikaz Ministerstva energetiki RF ot 13.07.2020 g. No. 555 [On approval of the Rules for the maintenance of devices and complexes of relay protection and automation and amendments to the requirements for ensuring the reliability of electric power systems, the reliability and safety of electric power facilities and power receiving installations «Rules for organizing the maintenance and repair

of electric power facilities», approved by order of the Ministry of Energy of Russia dated October 25, 2017 No. 1013; Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated July 13, 2020 No. 555]. Available at «Consultant Plus» System. (In Russ.).

10. Volkov V. G., Gindin P. D., Karpov V. V. [et al.]. Opticheskiye pribory s rabochim ul'trafioletovym diapazonom spektra [Optical devices with ultraviolet region of the spectrum] // Kontenant. *Contenant*. 2019. Vol. 18, no. 1–1. P. 61–74. (In Russ.).

11. Marayev A. M. Diagnostika izolyatorov i zhil tokoprovodov s pomoshch'yu UF-defektoskopa i teplovizora [Diagnostics of insulators and conductors of current conductors using a UV flaw detector and a thermal imager] // Energoekspert. *Energexpert*. 2020. No. 1 (73). P. 68–71. EDN: SBRGX1. (In Russ.).

12. Dolnik B., Šárpatky L., Havranet P. [et al.]. Sensing method using multiple quantities for diagnostic of insulators in different ambient conditions // Sensors. 2022. Vol. 22, no. 4. P. 1376. DOI: 10.3390/s22041376. (In Engl.).

13. Bashir N., Ahmad H., Suddin M. S. Ageing studies on transmission line glass insulators using dielectric dissipation factor test // 2010 Conference Proceedings IPEC. Singapore, 2010. P. 1062–1066. DOI: 10.1109/IPEC.2010.5696973. (In Engl.).

14. Gataullin A. M. Insulators electrical strength estimation under AC applied voltage // 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, Chelyabinsk, 2019. P. 35–39. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877654. (In Engl.).

15. Polyakov D. A., Nikitin K. I., Tereshchenko N. A., Novoselov A. S., Bilevich Ya. P. Issledovaniye chastichnykh razryadov v opornykh izolyatorakh [Analysis of partial discharges in supporting insulators] // Omskiy Nauchnyy Vestnik. *Omsk Scientific Bulletin*. 2020. No. 1 (169). P. 32–38. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-32-38. EDN: IDVJOF. (In Russ.).

16. Putra N. R. M., Sartika N., Rachmawati R. The study on leakage current waveform characteristics and computer simulation of ceramic insulator under artificial tropical condition // 2018 12th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM). IEEE, Xi'an, 2018. P. 320–323. DOI: 10.1109/ICPADM.2018.8401273. (In Engl.).

17. Patent No. 219963 Russian Federation, IPC H 01 C 13/00. Konstruktsiya rezistivnogo datchika dlya diagnostiki opornykh i shtyrevykh izolyatorov vozduшной linii elektropredachi [Design of a resistive sensor for diagnosing support and pin insulators of overhead power lines] / Tereshchenko N. A., Miroshnik V. Yu., Polyakov D. A., Nikitin K. I. No. 2023105800. (In Russ.).

18. Andreykov E. S., Shunayev S. A. Razrabotka konstruktsii datchika napryazheniya dlya sistemy diagnostiki podvesnoy izolyatsii liniy elektropredach 110 kV [Designing a voltage sensor for the diagnostic system of 110 kV overhead power line

suspension insulation] // Vestnik MEI. *Vestnik MEI*. 2017. No. 6. P. 54–59. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-54-59. (In Russ.).

19. Metodika ispytaniye vozdushnykh liniy elektropredachi do 10 kV [Methodology for testing overhead power lines up to 10 kV]. URL: <https://23etl.ru/metodica-ispytanie-vozdushnih-linij/> (accessed: 27.08.2023). (In Russ.).

20. Patent No. 2788070 Russian Federation, IPC G 01 R 31/50. Sposob diagnostiki odnoelementnykh izolyatorov VLEP i ustroystvo dlya ego realizatsii [A method for diagnosing single-element insulators of overhead power lines and a device for its implementation] / Tereshchenko N. A., Miroshnik V. Yu., Polyakov D. A., Nikitin K. I. No. 2022105467. (In Russ.).

21. Tereshchenko N. A., Kholmov M. A., Trofimenko S. V. [et al.]. Ustroystvo diagnostiki odnoelementnykh izolyatorov VLEP po temperature [Device for diagnostics of single-element insulators of overhead power lines by temperature] // Aktual'nyye Voprosy Energetiki. *Current Energy Issues*. Omsk, 2022. P. 78–82. EDN: DOTOBG. (In Russ.).

22. Polyakov V. S. Tekhnologii teplovizionnoy diagnostiki elektrooborudovaniya i opyt ikh ispol'zovaniya [Technologies for thermal imaging diagnostics of electrical equipment and experience in their use]. Saint Petersburg, 1997. 23 p. (In Russ.).

23. GOST R MEK 60870-5-104-2004. Ustroystva i sistemy telemekhaniki. Chast' 5. Protokoly predachi. Razdel 104. Dostup k seti dlya GOST R MEK 870-5-101 s ispol'zovaniyem standartnykh transportnykh profiley [Telemechanics devices and systems. Part 5. Transmission protocols. Section 104. Network access for GOST R IEC 870-5-101 using standard transport profiles]. Moscow, 2004. 46 p. (In Russ.).

TERESHCHENKO Nadezhda Andreyevna, Graduate Student of Theoretical and General Electrical Engineering Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 4017-2286

AuthorID (RSCI): 947723

AuthorID (SCOPUS): 57216615006

Correspondence address: nadezhda.tereshchenko@mail.ru

For citations

Tereshchenko N. A. Diagnostic device of single-element insulators of overhead transmission line by temperature // Omsk Scientific Bulletin. 2024. No. 1 (189). P. 103–109. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-103-109.

Received August 28, 2023.

© N. A. Tereshchenko