

УДК 621.315.65(08)

А. Г. ГАЛКИН, Т. А. НЕСЕНЮК (УРГУПС)

Уральский государственный университет путей сообщения, 620034, Россия, Екатеринбург, ул. Колмогорова 66, тел.: +7 (343) 221-25-27, эл. почта: [AGalkin@usurt.ru](mailto:AGalkin@usurt.ru), [TNesenuk@mail.ru](mailto:TNesenuk@mail.ru)

## КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯТОРОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

### Введение

Информационный поиск и анализ отечественной и зарубежной технической литературы показал, что ни в РФ, ни в СНГ, ни за рубежом проблема оперативной диагностики состояния распределительных электросетей в настоящее время не решена [1]. Электрические сети питают тяговые и нетяговые потребители. К тяговым потребителям относится электрический транспорт, имеющий свою инфраструктуру, обеспечивающую бесперебойное питание контактной сети, линий СЦБ, продольного электроснабжения, освещения, автоматики телемеханики, релейной защиты. Разнообразие видов и характеров повреждений пока не позволило найти какой-либо универсальный метод диагностики изоляции, что затрудняет обнаружение дефекта, увеличивает время поиска и приводит к экономическим потерям [2].

Процессы, протекающие в изоляции под воздействием различных эксплуатационных факторов, приводят к ее разрушению и ухудшают свойства изоляции. Контроль изоляции определяется испытанием, оценкой состояния изоляции и принятием решения о дальнейшей его эксплуатации.

Диагностику изоляторов необходимо осуществлять приборами, обладающими достаточной чувствительностью в жестких условиях эксплуатации с учетом расположения изолирующих конструкций. В большинстве энергосистем (80%) осмотры изоляторов проводятся с поверхности земли в дневное время суток с помощью оптических приборов. Биноклами, используемые бригадами обслуживающими воздушные линии электропередачи при осмотрах, можно наблюдать только существенные внешние повреждения, а не полную и объективную информацию о состоянии изоляторов.

### Классификация методов контроля изоляции

В настоящее время существуют различные методы контроля изоляции. Авторы попытались классифицировать методы контроля на контактные и бесконтактные, электрические и неэлектрические, звуковые и визуальные, а также комбинированные, схематическое изображение представлено на рис. 1.

Контактные методы, в основном, применяют при отключении напряжения на участке ЛЭП, где испытывают изоляторы. Такие методы сопровождаются снятием изоляторов с опор, что создает опасность связанную с подъемом рабочего персонала на опоры ВЛ и вероятность падения персонала под напряжение. Тогда, как бесконтактные методы могут применяться без отключения напряжения в ЛЭП.

Возникновение или увеличение интенсивности короны или поверхностных частичных разрядов можно использовать для косвенной оценки изолирующей способности и обнаружения дефектов электронно-оптическим дефектоскопом (ночного видения Филин, Коршун, CoronaScore, и дневного DayCor II™). Особенностью применения является регулирование чувствительности с учетом помехоустойчивости и пространственной разрешающей способности. По длительности оптического излучения определяется величина амплитуды тока утечки:  $\ln I = 0,1 + 0,34 T_{ПЧР}$  (при  $I > 2$  мА), где  $T_{ПЧР}$  - измеренная длительность излучения ПЧР в миллисекундах (0,1...9,9 мс) [3].

Изображения записывают, оцифровывают и определяют интенсивности излучения ПЧР в двух участках спектра количественно. Степень загрязнения поверхности определяют из отношения [3]:

$$\chi = 20,8 \cdot \left[ \left( \frac{2 \cdot I_{КР}}{I_{КР} + I_{СИН}} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

где  $I_{КР}$  и  $I_{СИН}$  – интенсивность излучения разрядов в красной и синей областях спектра, соответственно. После чего осуществляется выявление дефектов изоляторов и мест перекрытия.

Для работы с переносными приборами изучается информация о местности контролируемого участка и плане размещения контролируемой изоляции, планируется схема маршрута передвижения, анализируются данные показаний приборов подстанции, фиксирующих перекрытия, учитывается время суток (желательно темное время суток и повышенная влажность при положительной температуре).

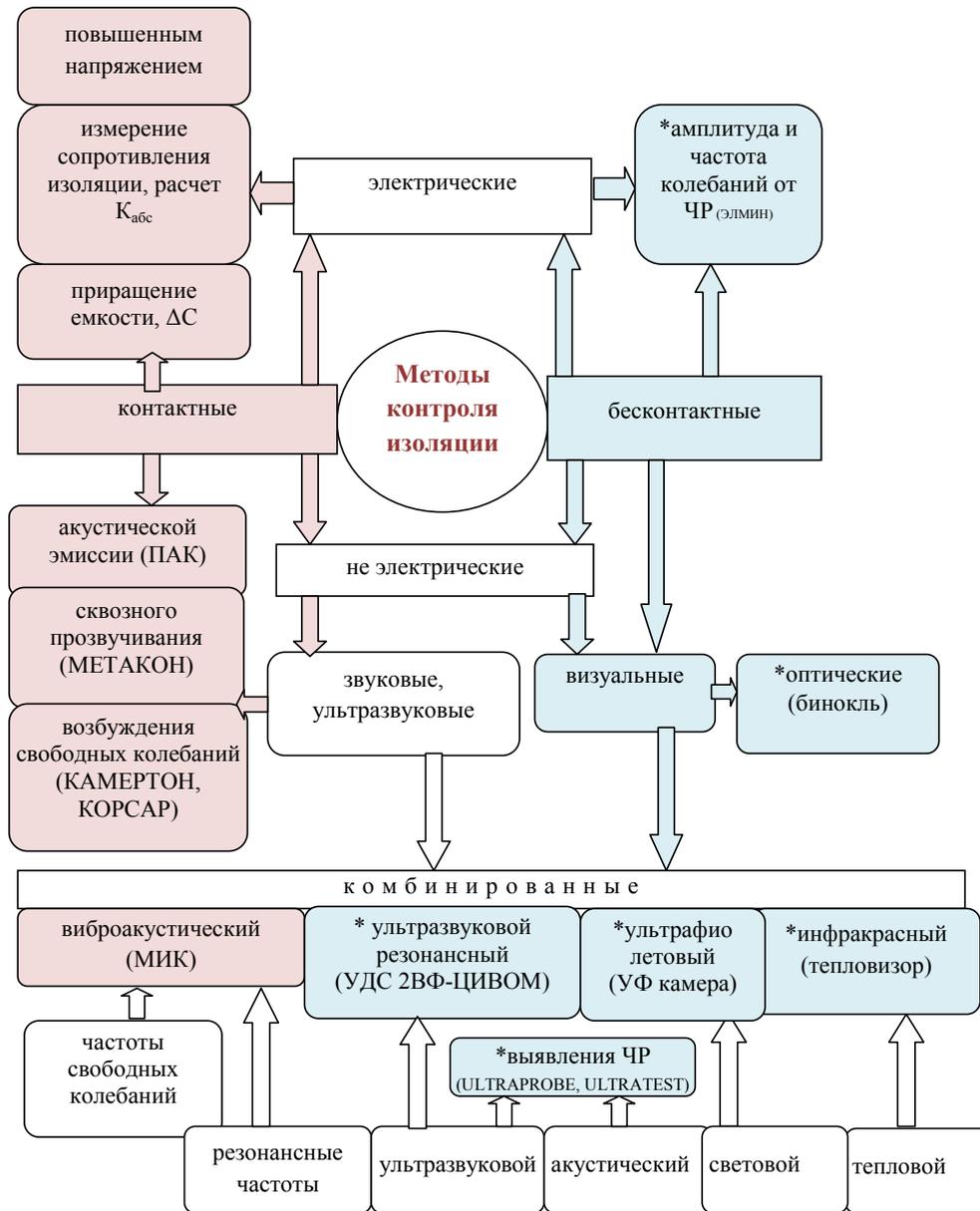


Рис. 1. Методы контроля изоляции

\* – не требующие отключения напряжения во время испытаний

При приближении грозы запрещено применение контролируемыми приборами, так же как приближение к токоведущим частям, ближе, чем на расстояние, указанное в РД 153-34.0-03.150-00. Необходимость учета всех параметров с учетом времени суток, влажности и климата, обучение персонала навыкам оператора и значительные затраты времени на поиск неисправности характеризует недостатки данного метода.

На практике в качестве диагностического прибора контроля изоляции используют тепловизор, обнаруживающий неисправность благодаря нагреванию наблюдаемой конструкции током. Применение в электроэнергетике инфракрасного аппарата позволяет косвенным способом выявлять неисправности [4]. Автор считает, что трудности диагностики возникают

начиная со сложности сопоставления температур всех элементов электроустановки, не допуская перекрытия изображения токоведущими элементами, продолжают при рассмотрении исследуемых объектов с разных углов на достаточно близком расстоянии, при этом тепловизор не учитывает многие физические эффекты, возникающие при излучении, поглощении и отражении инфракрасного (теплого) излучения. А программное обеспечение тепловизора не учитывает многие факторы из-за отсутствия соответствующих установочных параметров, значения которых могли бы задаваться до съемки.

Оценка надежности изоляции по результатам испытания бывает недостоверной на различных уровнях напряжений. Примером может служить

решение Всероссийского семинара по сравнению различных методов контроля состояния изоляторов [5]. На семинаре отмечено, что проблемы совершенствования системы диагностирования изоляторов остаются актуальными. Рекомендовалось разработчикам и изготовителям аппаратуры для контроля изоляторов доработать существующие методики с целью повышения достоверности оценки состояния изоляторов.

### Решение по контролю изоляторов

Авторами предлагается для диагностики использовать «Устройство для определения дефектов в изоляторах» [6] благодаря возникающему току замыкания на землю – току поверхностного или полного пробоя. Ток, направленный через сигнальное устройство, вызывает срабатывание последнего. Для улавливания тока пробоя не изменяя изоляционное тело изолятора авторы предлагают изменить конструкцию крепежного узла. Особенность «устройства» заключается в том, что крепежный элемент выполняют выступающим за пределы изолятора в месте крепления к заземленной конструкции, наносят на поверхность крепежного элемента равномерную по толщине пленку из токопроводящего материала, на выступающей части крепежного элемента к пленке жестко прикрепляют металлический проводник, другой конец которого через сигнальное устройство соединяют с заземленной конструкцией [6].

Проводимые в лаборатории «Теоретических основ электротехники» УрГУПС эксперименты подтвердили верность конструктивного исполнения устройства. При проведении опыта [7] распределения тока утечки по загрязненной поверхности, всю поверхность изолятора увлажнили соляным раствором и добились устойчивого прохождения тока. В результате ток протекал по влажной соляной поверхности изолятора на токопроводящую пленку, к которой был подключен тонкий медный провод. Ток попадал на «устройство», что можно было наблюдать на термограмме (рис. 3, а). В качестве сигнального устройства был использован предохранитель, плавкая вставка которого перегорела после прохождения через него тока утечки.

Следующий опыт проводился для того, чтобы убедиться в работе механизма устройства при пробое изолятора. На представленном рис. 3, б., составленным путем наложения фото и термограмм, можно увидеть путь прохождения пробивного тока. В качестве сигнального устройства применили медную проволоку, ко-

торая расплавилась под действием пропускаемого тока. Данный опыт позволил доказать возможность применения испытываемого устройства для выявления неисправного (пробитого) изолятора при внутренних повреждениях.

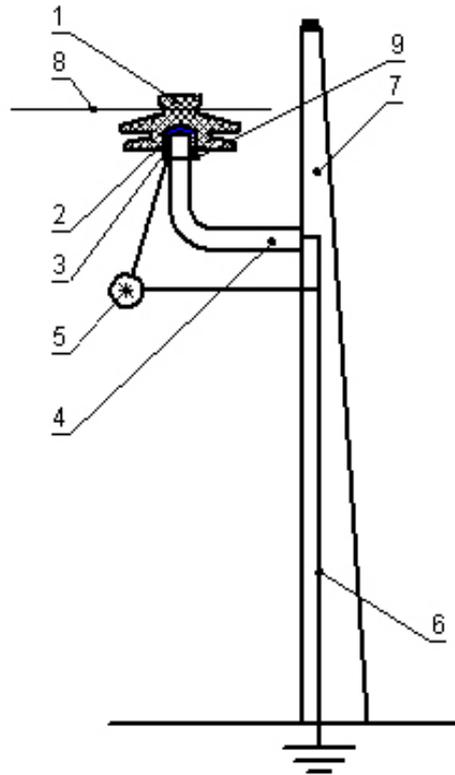


Рис. 2. Устройство для определения дефектов в изоляторах: 1 – изолятор; 2 – крепежный элемент; 3 – пленка; 4 – закрепленный через traversу или напрямую штырь или крюк; 5 – сигнальное устройство; 6 – заземленная конструкция; 7 – опора; 8 – ЛЭП; 9 – выступающая часть крепежного элемента

Следующий опыт проводился для того, чтобы убедиться в работе механизма устройства при пробое изолятора. На представленном рис. 3, б., составленным путем наложения фото и термограмм, можно увидеть путь прохождения пробивного тока. В качестве сигнального устройства применили медную проволоку, которая расплавилась под действием пропускаемого тока. Данный опыт позволил доказать возможность применения испытываемого устройства для выявления неисправного (пробитого) изолятора при внутренних повреждениях.

Таким образом, при короне, внутренних стримерах, дуговом разряде, искровых перекрытиях линейной изоляции или полном пробое с помощью предлагаемого устройства можно выявить неисправность изоляции в линии электропередачи.

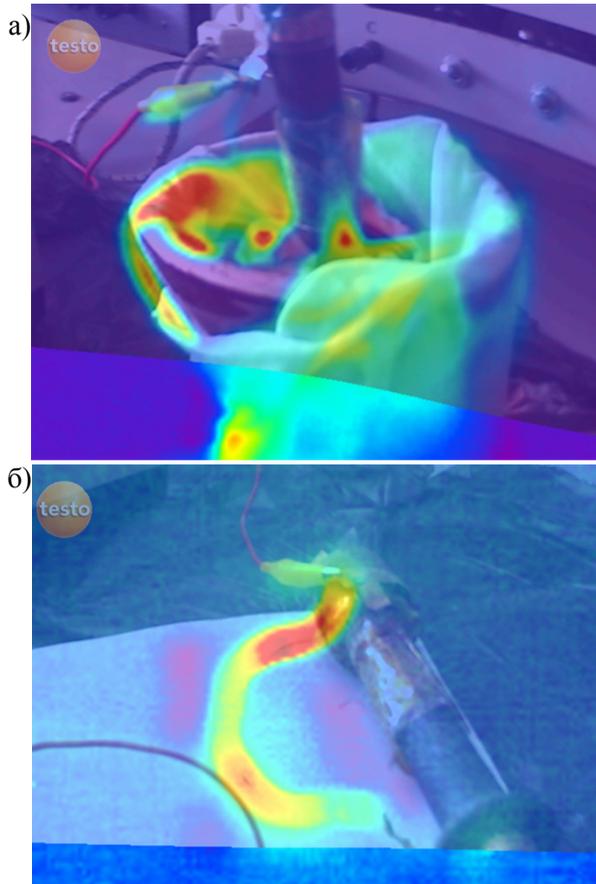


Рис. 3. Термограмма распределение тока пробоя:  
а) по поверхности изолятора; б) сквозного

#### Опорный изолятор с индикатором неисправности

Проблему опорной изоляции автор предлагает решить, установив индикатор неисправности модернизированным крепежным узлом [8], рис. 4. Изолировав потенциал токопроводящей линии (шины) 4 с одной стороны и заземленной конструкции 3 с другой втулкой и прокладкой из диэлектрического материала, можно соединить.

При пробое корпуса 1 изолятора однофазный ток протекает через металлический крепежный болт 2, изолированный от заземленной несущей конструкции 3 диэлектрической прокладкой 5 и втулкой 6 из диэлектрического материала, затем по проволочному проводнику 8, один конец которого пропущен между металлической шайбой 7 крепежного узла и дополнительной токопроводящей шайбой 12, установленными у головки болта 2, ток попадает на заземленную несущую конструкцию 3, к которой прикреплен другой конец проволочного проводника 8. На металлическом проволочном проводнике 8 размещен индикатор неисправности 9, срабатывающий при прохождении однофазного тока. Индикатор неисправности может иметь различную форму и различные методы срабатывания.

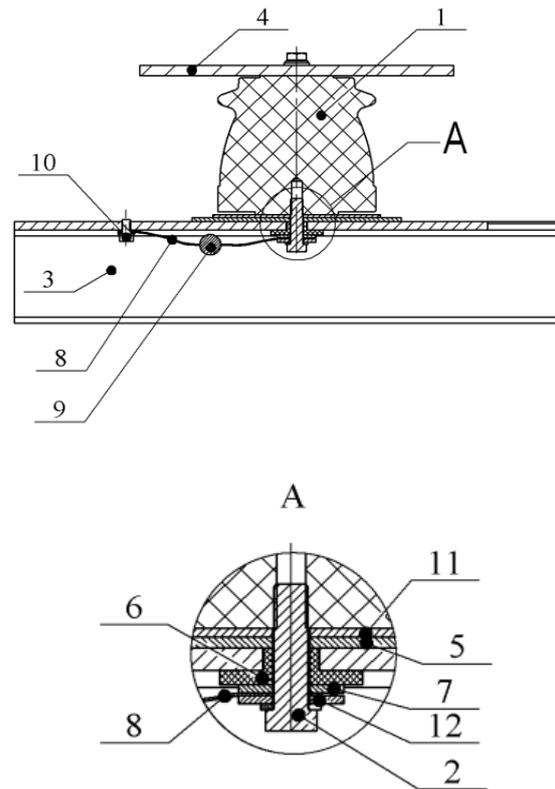


Рис. 4. Схема опорного изолятора с индикатором неисправности

Например, покрытие термокраской поверхности индикатора позволит визуально обнаруживать прохождение тока замыкания на землю за счет изменения цвета термокраски от силы тока. На краску не оказывают влияния магнитные и электрические поля.

Стальная проволока, сечение которой выбирается величиной тока, за счет нагрева током пробоя расплавляется и обрывается, при этом флажок будет удерживаться одним концом, что и будет сигналом повреждения изолятора.

Применение RFID-технологий. Можно применять RFID-технологии, модернизируя пассивную метку и считывателем обнаруживать прохождение тока замыкания на землю за счет перегорания микросхемы метки, которая не будет откликаться на высокочастотный сигнал, подаваемый считывателем [9].

В лабораториях УрГУПС проводились эксперименты по определению тока пробоя пассивных RFID-меток МЗ (рис. 5, поз. 1), длины распространения сигнала от угла расположения, материала на который крепится метка, о влиянии на прием и передачу высокочастотных сигналов различных разрядов (рис. 5, поз. 2).

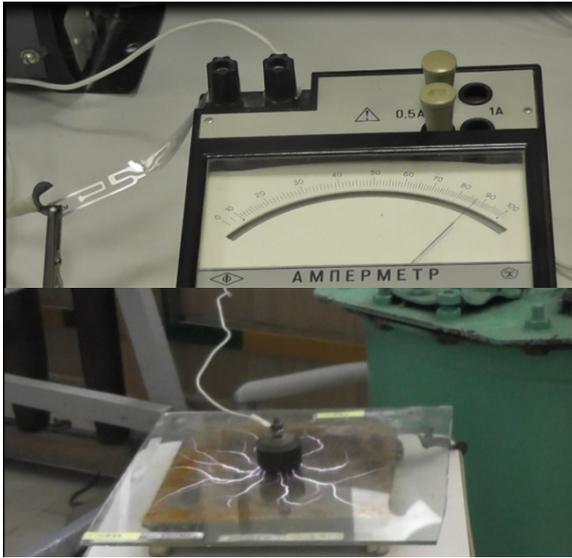


Рис. 5. Опыты с пассивной RFID-меткой:  
1 – подключение метки в измерительную схему;  
2 – исследование влияния коронного разряда  
на считывание пассивной RFID метки М3

Результаты испытаний RFID метки М3 позволяют сделать следующие выводы: ток пробоя должен задаваться определенным значением; метка может крепиться на различные материала-

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Несенюк Т. А. Диагностирование изолирующих конструкций // Транспорт Урала.- 2011.- №3 (30). – С. 69-71.
2. Соловьев Э. П. Выбор наружной полимерной изоляции на основе опыта длительной эксплуатации / Э. П. Соловьев, М. К. Ярмакин // Газета "Энергетика и промышленность России", №12(64), 2005.
3. Методические указания по дистанционному оптическому контролю изоляции воздушных линий электропередачи и распределительных устройств переменного тока напряжением 35 – 1150 кВ. СТО 56947007-29.240.003-2008.
4. Кочуров Е. Л. О технических характеристиках тепловизоров и о проблемах интерпретации результатов тепловизионной съемки оборудования / Е.Л. Кочуров, И.В. Милютин, А. В. Рубиновский [электрон. ресурс], режим доступа: <http://enlab.ru/pub/pub16/pub16.html>
5. Решение Всероссийского семинара «Сравнение различных методов контроля состояния фарфоровых опорно-стержневых изоляторов на подстанциях 110 кВ. Применение методов диагностирования опорно-стержневой изоляции 35-110 кВ», г. Екатеринбург 25.11.2011.
6. Заявка на изобретение №2012120948\07(031733) Российской Федерации, МКП 8 Н 01В 17/00. Устройство для определения дефектов в изоляторах. Дата подачи: 22.05.2012.
7. Протокол испытаний «Устройства для определения дефектов в изоляторах», 2012. – 7 лист.
8. Заявка на изобретение №2013133062\07(049422) Российской Федерации, МКП 8 Н 01В 17/14/ Опор-

лы, кроме металлических конструкций от которых она должна быть изолирована; угол поворота метки относительно считывателя влияет на длину считывания; высокочастотные сигналы не оказывают влияния электрические разряды различной конфигурации. Таким образом, использование RFID-технологий возможно для диагностики изоляции воздушных линий электропередачи с учетом особенностей RFID-меток. Обезопасность на передвижных лабораториях, обходы ЛЭП позволят производить диагностику изоляции с помощью RFID-технологий на ранней стадии развития и при пробое.

#### Выводы

Предложенные способы выявления неисправных изоляторов существенно уменьшают экономические потери, связанные с недоотпуском электрической энергии потребителям, повреждением высоковольтного оборудования, уменьшают время поиска причины аварии и снижают вероятность несчастных случаев.

#### REFERENCES

1. Nesenyuk T. A. *Diagnostirovanie izoliruyushchikh konstruksiy* [Diagnostics of insulating structures] // Transport Urala [Transport of the Urals]. – 2011. – №3 (30). P. 69-71.
2. Solovyev E. P., Yarmarkin M. K. *Vybor naruzhnoy polimernoy izolyatsii na osnove opyta dlitelnoy ekspluatatsii* [Selection of exterior polymeric insulation based on long-term operation]. Gazeta "Energetika i promyshlennost Rossii" [Newspaper "Power and Industry of Russia"], №12(64), 2005.
3. *Metodicheskie ukazaniya po distantsionnomu opticheskomu kontrolyu izolyatsii vozduzhnykh liniy elektroperedachi i raspredelitelnykh ustroystv peremennogo toka napryazheniem 35 – 1150 kV*. STO 56947007-29.240.003-2008 [Guidelines for remote optical monitoring of overhead power transmission lines' insulation and distribution devices of alternate current 35 – 1150 kV].
4. Kochurov E.L., I.V. Milyutin, Rubinovskiy A.V. *O tekhnicheskikh kharakteristikakh teplovizorov i o problemakh interpretatsii rezultatov teplovizionnoy syemki oborudovaniya* [On the specification of thermal imaging cameras and interpretation problems of equipment thermal-imaging shooting], URL: <http://enlab.ru/pub/pub16/pub16.html>
5. *Sravnenie razlichnykh metodov kontrolya sostoyaniya farforovykh oporno-sterzhnevyykh izolyatorov na podstantsiyakh 110 kV. Primenenie metodov diagnostirovaniya oporno-sterzhnevoy izolyatsii 35-110 kV*. [Resolution of All-Russian seminar "Comparison of different monitoring methods of porcelain rigid-rod insulators at 110 kV substations. Application of diagnostic methods of 35-110 kV rigid-rod insulation], Ekaterinburg, 25.11.2011
6. Application for an invention No.2012120948\07

ний ізолятор с индикатором неисправности, дата подачи: 16.07.2013.

9. Несенюк Т.А. Применение RFID-технологий для поиска неисправной изоляции // Транспорт Урала, 2013. – №2 (37). – С.72-76.

Поступила в печать 16.10.2013.

**Ключевые слова:** изолятор, методы контроля изолирующих конструкций, устройство для определения дефектов в изоляторах, опорный изолятор с индикатором неисправности, электромеханическое сигнальное устройство, RFID-технологии.

(031733) of the Russian Federation, MKP 8 N 01V 17/00. *Ustroystvo dlya opredeleniya defectov v izolatorakh* [A device for detecting faults in isolators] / T.A. Nesenyuk. Filing date 22.05.2012

7. *Protokol ispytaniy «Ustroystva dlya opredeleniya defectov v izolyatorakh»* [Test record sheet A device for detecting faults in isolators], 2012, 7 p.

8. Application for an invention No. 2013133062\07 (049422) of the Russian Federation, MKP 8 N 01V 17/14/ *Oporny izolyator s indikatorom neispravnosti* [Base insulator with fault indicator], Filing date 16.07.2013.

9. Nesenyuk T. A. *Primenenie RFID-tehnology dlya poiska neispravnoy izolyatsii* [The use of RFID-technology to detect insulation faults] //Transport Urala [Transport of the Urals], 2013.- №2 (37). P.72-76.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Васяк И.*

В данной работе проведена классификация методов диагностики и контроля изолирующих конструкций, описаны особенности применения бесконтактных методов на примере камер ночного видения и тепловизора. Предложено применение разработанного «Устройства для определения дефектов в изоляторах». В качестве параметра срабатывания предлагается использовать ток пробоя изолятора, выявляющего неисправность диэлектрика с помощью сигнального устройства. Приведены результаты испытаний работоспособности устройства на поверхностный ток и сквозной ток пробоя. Проблему диагностики опорной изоляции авторы предлагают разрешить, установив индикатор неисправности с применением механических, термических или радиочастотных способов контроля

## УДК 621.315.65(08)

О. Г. ГАЛКИН, Т. А. НЕСЕНЮК (УРГУПС)

Уральський державний університет шляхів сполучення, 620034, Росія, Екатеринбург, вул. Колмогорова 66, тел.: +7 (343) 221-25-27, ел. пошта: [AGalkin@usurt.ru](mailto:AGalkin@usurt.ru), [TNesenuk@mail.ru](mailto:TNesenuk@mail.ru)

## КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ІЗОЛЯТОРІВ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

У даній роботі проведена класифікація методів діагностики та контролю ізолюючих конструкцій, описані особливості застосування безконтактних методів на прикладі камер нічного бачення і тепловізора. Запропоновано застосування розробленого «Пристрою для визначення дефектів в ізоляторах». В якості параметру спрацювання пропонується використовувати струм пробую ізолятора, що виявляє несправність діелектрика за допомогою сигнального пристрою. Наведені результати випробувань працюючого пристрою на поверхневий струм і наскрізний струм пробую. Проблему діагностики опорної ізоляції автори пропонують вирішити, встановивши індикатор несправності з застосуванням механічних, термічних або радіочастотних способів контролю

**Ключові слова:** ізолятор, методи контролю ізолюючих конструкцій, пристрій для визначення дефектів в ізоляторах, опорний ізолятор з індикатором несправності, електромеханічний сигнальний пристрій, RFID-технології.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Васяк І.*

## UDC 621.315.65(08)

A. G. GALKIN, T. A. NESENYUK (DNURT)

Ural State University of Railway Transport, 620034, Russia, Ekaterinburg, 66 Kolmogorov Street, tel.: +7 (343) 221-25-27, e-mail: [AGalkin@usurt.ru](mailto:AGalkin@usurt.ru), [TNesenuk@mail.ru](mailto:TNesenuk@mail.ru)

## MONITORING AND DIAGNOSTICS OF POWER TRANSMISSION LINES INSULATORS

In this paper the classification of monitoring and diagnostic methods of insulating structures is made, the peculiarities of noncontact methods application by the example of night observation cameras and thermal imaging cameras are described. The use of the developed "Device for detecting faults in insulators" is suggested. Insulator's leakage current that detects dielectric's fault with the help of alarm device is used as operating value. The test results of device operability on surface current and steady leakage current are given. The authors suggest to solve the problem of base insulation diagnostics by setting fault indicators with regard to mechanical, thermal and radio frequency monitoring methods.

**Keywords:** insulator, monitoring of insulating structures, device for detecting faults in insulators, base insulator with fault indicators, electromechanical alarm device, RFID-technology.

Internal reviewer *Sychenko V. G.*

External reviewer *Vasyak I.*

© Галкин А. Г., Несенюк Т. А., 2013