



# Испытания опытных образцов сигнального устройства для контроля изоляторов



Татьяна НЕСЕНЮК

Tatyana A. NESENYUK

## Testing of Prototype Signaling Devices for Insulator Control

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 44)

**Статья знакомит с лабораторными исследованиями образцов RFID-меток, используемых для радиочастотной идентификации и контроля диэлектрического состояния линейных полимерных изоляторов ЛК-70, которые применяются в воздушной линии электропередачи, включая контактную сеть. Рассмотрены влияние электрических разрядов на работоспособность RFID-технологии, воздействие климатических факторов, проведены измерения угловой зависимости дистанции и скорости регистрации RFID-меток при приёмо-передаче сигнала терминалом для сбора данных, определена величина тока пробоя. Проанализированы результаты испытаний, которые подтверждают возможность радиочастотного идентификационного контроля состояния изоляторов.**

*Ключевые слова:* воздушная линия электропередачи, контактная сеть, полимерные изоляторы, RFID-технология, испытания, опытные образцы, встроенное сигнальное устройство, RFID-метки.

*Несенюк Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия.*

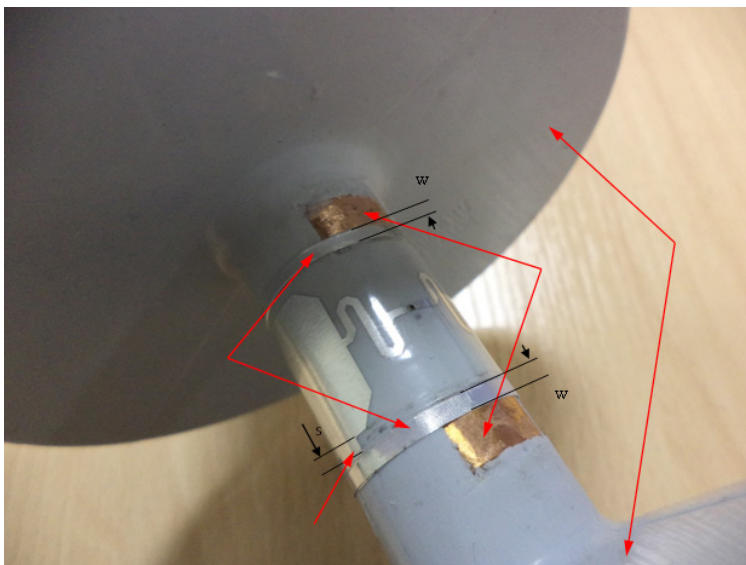
**В** научных работах [1–4] классифицированы различные способы контроля диэлектрического состояния изоляторов, предложены методы, одним из которых является бесконтактная радиочастотная идентификация с применением RFID-технологии. Вариант радиочастотной идентификации пригоден для всего жизненного цикла изоляторов, RFID-технология позволяет осуществлять и непосредственный контроль по месту нахождения, и производить индивидуальный и системный анализ состояния изоляторов с учётом вводимых данных. При этом ничто не мешает принимать во внимание любые производственные и технологические факторы, влияющие на работоспособность изделия. Информация по оборудованию может содержать данные о производителе изделия, используемых материалах, паспортные сведения, способ крепления, монтаж, особенности условий эксплуатации, события по аварийным ситуациям в системе электроснабжения.

Для введения бесконтактного идентификационного контроля изоляторов разработано и согласовано с производителем техническое задание на создание RFID-меток под определённый тип изолятора

Таблица 1

**Основные предъявляемые требования к изоляторам со встроенным сигнальным устройством ЛК 70/110 ГП**

Основные технические параметры	
Климатическое исполнение	УХЛ1
Степень загрязнённости	III
Угол считывания	180 градусов
Одновременность считывания	50 меток
Скорость считывания	не менее 100 км/ч
Дальность считывания	не менее 10 м
Радиостандарты, электромагнитная совместимость	EN301489
Вибростойкость	EN60068-2-6 10–150 Гц: 0,075 мм/г
Ударостойкость	EN60068-2-27 ускорение: 30 g
Строительная высота изолятора	1270–1370 мм
Длина изоляционной части	1030–1130 мм
Длина пути утечки	2780–3100 мм

**Рис. 1. Образец изолятора со встроенным сигнальным устройством.**

и условия его эксплуатации (таблица 1). Основным назначением изолятора со встроенным сигнальным устройством является выявление динамики диэлектрических свойств изделия за счёт прохождения тока утечки или тока пробоя через RFID-метку. Это позволяет найти точное место расположения узла с пониженными диэлектрическими свойствами и обеспечить более надёжную защиту ЛЭП путём очистки или замены некачественных изоляторов. Изготовленные образцы изоляторов со встроенным сигнальным устройством должны соответствовать ГОСТ 55189–2012 [5].

Выбор изолятора ЛК 70/110 ГП в качестве прототипа для изготовления опытного образца был неслучайным. Во-первых, ставилась задача убедить энергообеспечивающие предприятия в преимуществе полимерных изоляторов по сравнению с эксплуатируемыми сейчас изоляторами из фарфора и стекла. Во-вторых, изоляторы должны быть стандартными изделиями и легко встраиваться в действующую систему электроснабжения.

**I.**

Полученные образцы первой серии прототипов RFID-меток для сигнального





**Рис. 2.** Экспериментальные испытания образцов RFID-меток в климатической камере с применением переносного считывающего устройства.



**Рис. 3.** Расположение образцов RFID-меток в климатической камере: 1 – D9407 на полимерном изоляторе; 2 – D8C03 на подвешном стеклянном изоляторе; 3 – D8C08 на колпачке штыревого изолятора; 4 – D8C0A на штыревом стеклянном изоляторе.

устройства на изоляторе ЛК 70/110 ГП со встроенными электродами (рис. 1) были исследованы в лабораторных условиях. Для экспериментальной проверки использованы собранные на TAL 500 образцы меток версии IzoTag.

Рассмотрены влияние электрических разрядов на работоспособность RFID-технологии, воздействие климатических факторов, проведены измерения угловой зависимости дистанции регистрации при

приёмо-передаче сигнала от считывающего устройства, скорости считывания, определены параметры тока, проходящего через метку, и величины тока пробоя. Работа шла в лабораториях «Техника высоких напряжений», «Материаловедение» кафедры «Электрические машины» и испытательного центра технических средств железнодорожного транспорта УрГУПС (рис. 2). Одна из позиций фиксировалась при проверке в безэховой камере при помощи

Таблица 2

Результаты климатических испытаний при влажности от 20 до 98 %

Метка	Температура, °C									
	+70	+55	+25	+10	0	-10	-20	-30	-55	-70
D9407 (ЛК-70)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
D8C03 (ПС-70)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
D8C08 (КОЛПАЧОК)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
D8C0A (ШС-20)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

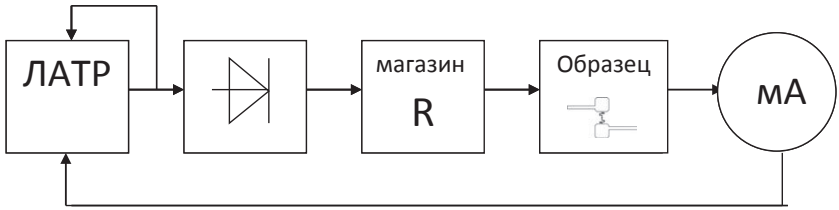


Рис. 4. Структурная схема испытаний образцов RFID-метки.

считывающего устройства CISC RFID Xplorer 100 и программного обеспечения CISC RFID Xplorer Tag Tester v.130320.

Основной целью испытаний было исследование образцов RFID-метки для контроля состояния полимерных изоляторов ЛК70/110. В экспериментах рассматривалось влияние различных факторов на приёмо-передачу радиочастотного сигнала между считывающим устройством и пассивными RFID-метками. Считывание RFID-меток осуществлялось с помощью портативного ATID AT570RF терминала для сбора данных (считывателя).

Для испытания образцы радиочастотных меток с номерами D9407, D8C03, D8C08, D8C0A были закреплены на изоляторы: полимерный стержневой ЛК-70/10, подвесной ПС-70, штыревой стеклянный ШС-20, а также на смоделированный удлинённый колпачок штыревого изолятора. Расположение образцов в климатической камере показано на рис. 3. Номера на считывающем устройстве имеют 28 знаков, для упрощения записи были взяты последние пять знаков кода метки.

Эксперименты показали, что исследуемые опытные образцы RFID-меток считываются на всём диапазоне заданных программой испытаний температур (от +70 до -70°C). Отмечено, что при минусовой температуре от -10 до -30°C скорость и дальность считывания несколько увеличивалась. В таблице 2 приведены результаты климатических исследований.

Таким образом, результаты испытаний подтвердили возможность применения разработанных образцов RFID-меток в бесконтактной диагностике изоляторов, выполненных из различных материалов (стекло, фарфор, полимер).

II.

Вторая часть экспериментов предусматривала исследование влияния электрического тока на дальность считывания и определение тока пробоя опытного образца RFID-метки. Для этих целей собрали испытательную установку, включающую источник постоянного тока, ЛАТР, выпрямитель, амперметр, измерительный магазин сопротивлений, с помощью проводников присоединили к цепи RFID-метку. Структурная схема испытаний приведена на рис. 4.

В ходе исследования были использованы образцы разработанных RFID-меток для изоляторов со встроенным электродом.

В таблице 3 приведены результаты испытаний. Средний ток пробоя у четырёх образцов составил 0,28 А. На рис. 5 показано прохождение тока пробоя через чип исследуемого образца Оп3.

Построен график зависимости дальности считывания RFID-устройства от величины тока (рис. 6). Метка подключалась непосредственно к испытательной установке, максимальная дальность считывания составила шесть метров.

Влияние тока протекания на дальность считывания при приёмо-передаче высокочас-





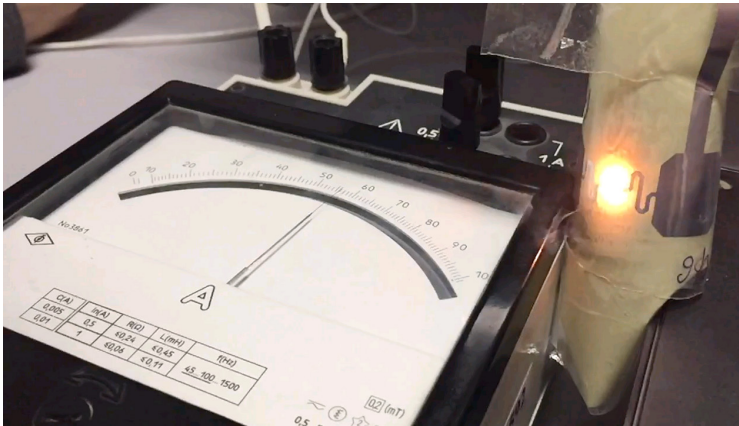


Рис. 5. Пробой RFID-метки на испытательной установке.

Таблица 3

Результаты измерения тока пробоя образцов RFID-меток

Номер метки	Op3	Op2	Op6	Op7
Ток пробоя, А	0,27	0,28	0,28	0,29

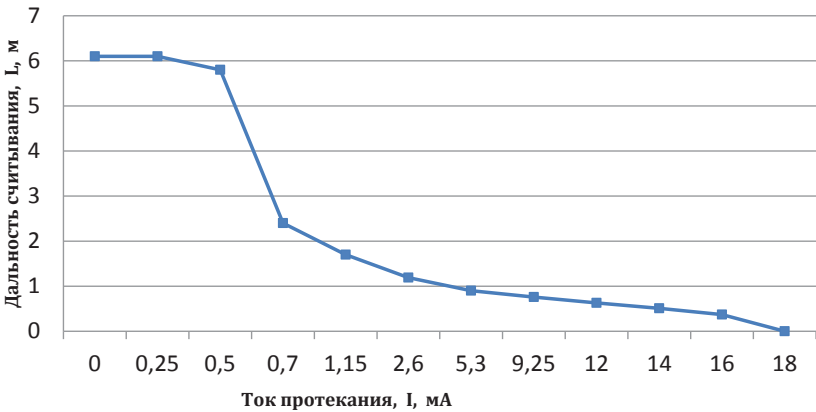


Рис. 6. График зависимости дальности считывания RFID-устройства от величины тока.

тотного сигнала между считывателем и пассивной меткой чётко прослеживается: с увеличением тока дальность считывания уменьшается. С помощью встроенного сигнального устройства изолятора можно выявить прохождение тока утечки, имеющего величину свыше 0,5 мА независимо от причины его образования (ток сквозной проводимости, геометрической ёмкости, ток абсорбции).

Результаты исследования определяют прохождение малой величины тока при ранней стадии развития дефекта и, возможно, допускают неоднократное применение метки, так как её свойства восстанавливаются при отсутствии прохождения через неё тока менее 0,5 мА. Например, в случае загрязнения поверхности изолятора не возникнет необходимости замены

пассивной метки. После очистки изолятора метка по-прежнему будет функционировать.

Проведено измерение угловой зависимости дистанции регистрации – дальности и скорости считывания опытных образцов RFID-меток. Делалось это путём изменения пространственного положения полимерного изолятора ЛК-70–110 с встроенным сигнальным устройством (рис. 7). Измерения предусматривали горизонтальное и вертикальное положения, фиксированную частоту 870 МГц. Опытный образец вращался при помощи опорно-поворотного устройства вокруг вертикальной оси в диапазоне углов 0–360° с шагом 5° и 10° при горизонтальном и вертикальном размещении изолятора соответственно.

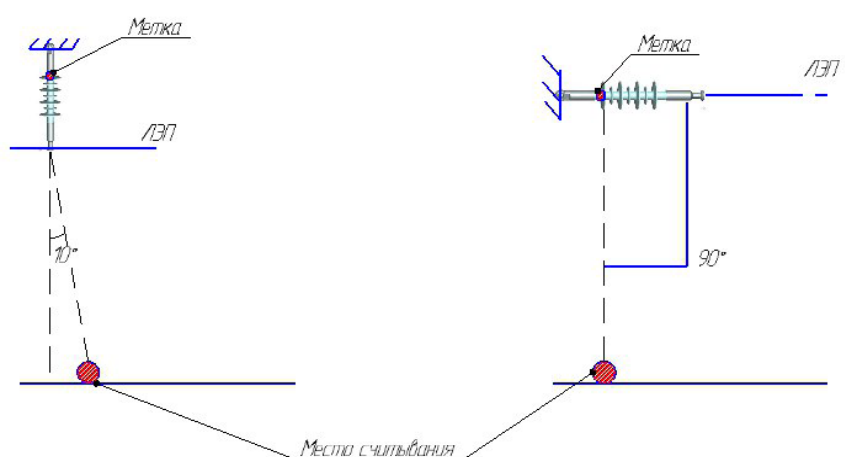


Рис. 7. Модель считывания RFID-меток.



Рис. 8. Проведение экспериментов по определению дальности и скорости считывания образцов RFID-метки на изоляторе ЛК-70–110 при расположении изоляторов: а) вертикальном, б) горизонтальном.

На основании полученных результатов были построены диаграммы угловой зависимости дистанции регистрации метки, приведённые на рис. 9 и 10. Скорость считывания опытных образцов при приёмо-передаче сигнала определяли с помощью программы ATUHF\_Net. Средняя скорость составляла 791,75 считываний в минуту при постоянном расстоянии 10,2 м вне зависимости от угла считывания. Результаты экспериментов выявили влияние угловой зависимости дистанции регистрации RFID-метки.

Например, дистанция превышала 10 м при углах 0 до 90° и от 270 до 360°. Данный факт необходимо учитывать при креплении

метки по отношению к месту нахождения считывающего устройства, а на втором этапе предусмотреть при разработке увеличение угла считывания до 360°.

Исследовали влияние различных видов электрических разрядов при приёмо-передаче сигналов между считывающим устройством и образцами пассивных меток, которые крепили к изолятору ЛК 70/110 (рис. 12).

В лаборатории проверили влияние разрядов на границе твёрдого диэлектрика и воздуха (коронный, искровой, дуговой разряды). Для выполнения исследования применяли электроды различной формы: игла—плоскость, игла—игла, провод—провод.



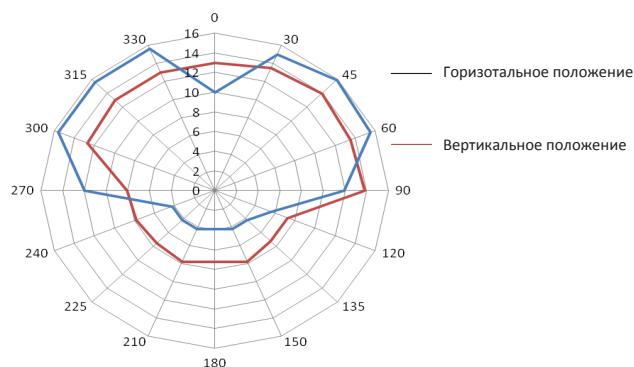


Рис. 9. Вертикальное и горизонтальное расположение изолятора по отношению к считывающему устройству.

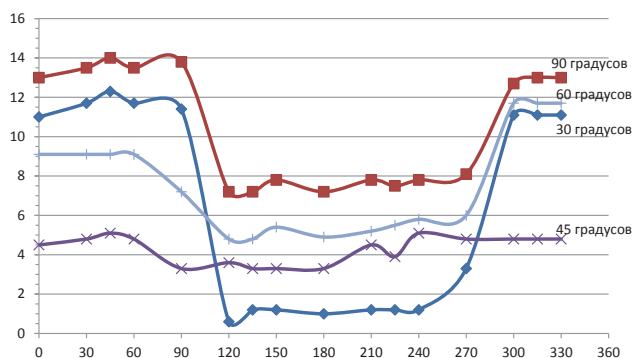


Рис. 10. Измерения угловой зависимости дистанции регистрации.

В ходе экспериментов наблюдали за приёмо-передачей сигнала между считывающим устройством и RFID-меткой. В результате опытов с электродами «провод—провод» метки считывались, при этом при уменьшении расстояния между проводами дальность считывания уменьшалась.

Известно, что при увеличении расстояния между электродами напряжение пробоя увеличивается. Когда расстояние между потенциалами составляло 30 мм, при нахождении метки вблизи параллельно расположенных проводов (на расстоянии 50 мм) произошёл пробой, RFID-метка перестала считываться. В остальных экспериментах, когда между изолятором со встроенной меткой и электродами расстояние не превышало 0,2 м, при электродах «игла—плоскость», «игла—игла» и в виде шаровых разрядников диаметром 0,25 м считывание осуществлялось непрерывно, но с разной скоростью и независимо от способа пробоя воздуха, при этом были неизмен-

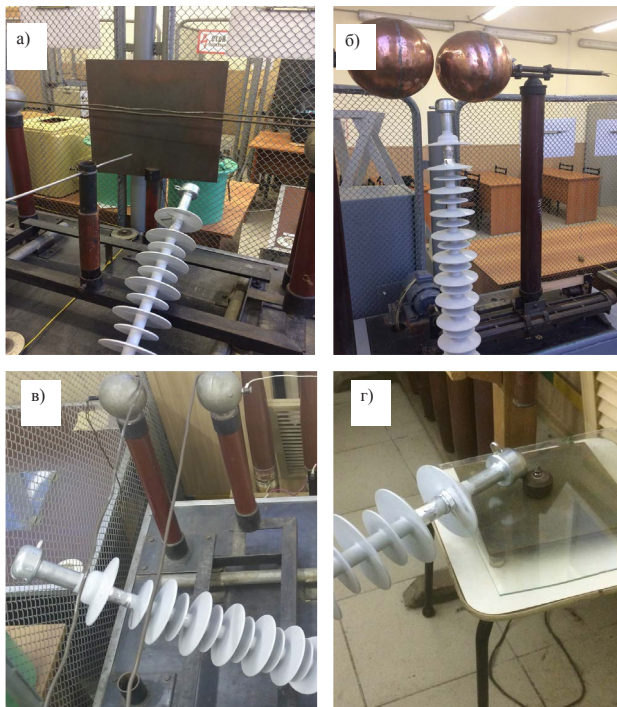
ными влияние внешних факторов (давление, температура, влажность) и расстояние между оператором и образцом.

Полученные результаты не противоречат основной цели — выявлению диэлектрических свойств изоляторов, так как с увеличением напряжения пробоя возрастает и вероятность пробоя метки, а следовательно, данный факт позволяет либо зафиксировать снижение диэлектрических свойств воздушного промежутка, либо появление частичных разрядов, вызванных снижением диэлектрических свойств изолятора.

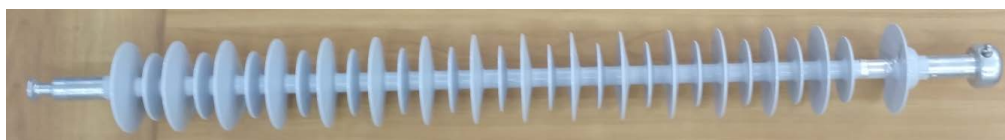
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты лабораторных испытаний основных характеристик регистрации RFID-метки для сигнального устройства, размещённой на изоляторе со встроенными электродами, позволяют сделать следующие выводы.

Исследуемые образцы прошли климатические испытания. Выявлено влияние тока



**Рис. 11. Проведение исследований при форме электродов:**  
**а) игла–плоскость;**  
**б) шаровые разрядники**  
**( $d = 0,25$ ); в) провод–**  
**провод; г) коронные**  
**разряды.**



**Рис. 12. Изолятор ЛКИ 70/110-4 УХЛ1 со встроенным сигнальным устройством на базе RFID-метки.**

протекания на дистанцию регистрации метки и возможность многократного применения метки при устранении причины появления тока свыше  $0,28 \text{ А}$ . При этом можно обнаружить прохождение тока утечки, превышающего  $0,5 \text{ мА}$ , то есть на раннем этапе снижения диэлектрических свойств изолятора. Определено влияние угловой зависимости дистанции регистрации прототипов RFID-меток, что необходимо учитывать при креплении метки к изолятору и в дальнейшем предусмотреть увеличение угла считывания от  $180^\circ$  до  $360^\circ$ .

Исследованы последствия влияния электрических разрядов на границе твёрдого диэлектрика и воздуха.

Опытные образцы изоляторов со встроенным сигнальным устройством успешно прошли предусмотренные лабораторные испытания. Полученные результаты под-

тверждают возможность применения радиочастотного идентификационного метода при эксплуатационном контроле изоляторов контактной сети.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Несенюк Т. А., Сухогузов А. П. Изменение конструктивного исполнения изолирующих конструкций для диагностики неисправной изоляции // Транспорт Урала. — 2012. — № 4. — С. 69–74.
2. Несенюк Т. А. Применение RFID-технологий для поиска неисправной изоляции // Транспорт Урала. — 2013. — № 2. — С. 72–76.
3. Несенюк Т. А., Сергеев Б. С., Сухогузов А. П. Методика определения состояния изоляторов ВЛ-6–10 кВ // Известия Транссиба. — 2014. — № 4. — С. 97–104.
4. Совершенствование эксплуатационной диагностики изоляторов и защитных устройств // Электрообеспечение железных дорог: Межвуз. темат. сб. науч. трудов / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск, 2016. — С. 32–36.
5. ГОСТ 55189–2012. Изоляторы линейные подвесные стержневые полимерные. Общие технические условия.

Координаты автора: **Несенюк Т. А.** – TNesenuk@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.05.2018, принята к публикации 30.05.2018.