

АКУСТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ УСТАНОВОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

А.Ф. Костюков

Разработан ряд акустических методов, позволяющих производить оценку работоспособности установочных электропроводок и определение времени их наработки на отказ при различных режимах нагрузки и условиях эксплуатации.

Ключевые слова: электропроводка, оценка, прогнозирование, техническое состояние, модель, испытания, преждевременный износ.

На кафедре «Электроснабжение производства и быта» АлтГТУ проводятся исследования, целью которых является разработка неразрушающих методов определения состояния установочных электропроводок в зданиях и сооружениях производства и быта, для оценки их остаточного времени наработки на отказ [1;2].

Дело в том, что установочные проводки являются наиболее опасными, по пожаро- и травмоопасности, объектами электроснабжения [3;4]. Ежегодно от поражения электрическим током в России погибает более 4500 человек, теряет трудоспособность более 30 тысяч человек. Серьезную угрозу представляют пожары, возникающие от электрических замыканий электропроводок зданий и сооружений. Доля их составляет 25-30 % от общего количества возникающих пожаров [5;6].

Задачами исследования являются:

- анализ существующих методов неразрушающего контроля применительно к поставленной цели;
- разработка методик неразрушающего анализа дефектов электропроводок на ранней стадии и динамики их развития с вероятностной оценкой времени наработки на отказ;
- разработка рекомендаций по применению новых методов диагностирования установочных проводок.

Анализ технической литературы и патентной информации за прошедший период 90 лет позволяет сделать следующие выводы.

Все основные исследования по электробезопасности проводились с целью выявления места и величины уже произошедшего нарушения электроснабжения, тогда как более злободневным является оперативная, функциональная оценка вероятности возникновения аварийной ситуации работоспособных проводок.

Функциональный контроль с использованием предлагаемых методов позволяет получать достоверную информацию о техническом состоянии электропроводок, выявлять основные факторы, влияющие на долговечность и количественные связи между диагностируемыми параметрами электропроводок и факторами нагрузки/ Функциональные испытания позволяют выявить основные виды повреждений, тем самым, оценить остаточный ресурс и дать его прогноз на заданный интервал времени.

Наряду с другими с другими способами, представляют интерес функциональные испытания с применением акустических колебаний.

Если представить установочную электропроводку в виде стержня постоянного сечения, то, при прохождении через нее акустических колебаний, будет справедливо применение к ней выводов известного [7] телеграфного уравнения, в частности, при наличии нагрузки, приведенное сопротивление нагрузки будет равно

$$z'_H = j\omega m / \rho c_0 S, \quad (1)$$

а входное сопротивление линии

$$z'_H = j \cdot (\omega m + \rho c_0 S \cdot \operatorname{tg} kl) / (\rho c_0 S - \omega m \operatorname{tg} kl), \quad (2)$$

где z'_H – входное сопротивление линии, ω – круговая частота, m – масса, ρ – волновое сопротивление, c_0 – скорость распространения акустических колебаний, S – сечение линии. l – длина линии.

Комплексное входное сопротивление z'_H при резонансе теряет свою мнимую часть и сохраняет только активное R . При этом, реактивное сопротивление на входе линии равно нулю, а скорость колебаний образует пучность.

Резонансные частоты определяются из уравнения

$$\omega_m / \rho c_0 S + t_{qkl} = 0 \quad (3)$$

Исходя из этого, автором разработан ряд методик контроля работоспособности проводок в зданиях и сооружениях производственного и жилого фонда, позволяющих своевременно предотвращать возникновение аварийных ситуаций на основе различных акустических критериев оценки их работоспособности.

Ультразвуковой дисперсионный способ реализуется следующим образом (Рисунок 1). Определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный ток утечки изоляции и нормативный срок эксплуатации линии, т.е. времени наработки на отказ до начала эксплуатации. Находят температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки. Любым известным способом определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем определяют рабочую, установившуюся, температуру изоляции и проводников при подаче через проводку максимального используемого тока.

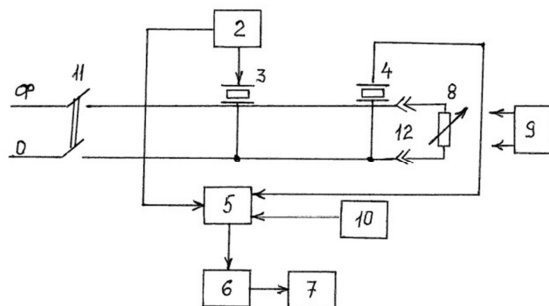


Рисунок 1

Расчетным путем определяют снижение амплитуды акустических колебаний на конце линии при отсутствии нагрузки и при максимальной используемой токовой нагрузке. С помощью вводного автомата 11 подключают электроснабжение и, регулируя нагрузку 8, через проводку 1 с генератора 2 на излучатель 3 подают высокочастотные электрические синусоидальные колебания. С помощью датчика температуры 9, подключаемого через разъем 12, определяют рабочую, установившуюся, температуру изоляции и проводников при подаче через проводку максимального используемого тока. С выхода дифференциального усилителя 5, на выходе приемного акустического датчика 4, с помощью вольтметра 10, снимают показания амплитуды аку-

стических колебаний на конце линии 1. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы (например, экспоненциальной), заносят в вычислительное устройство 6 и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации, с выводом результата на устройство регистрации и отображения информации 7.

Другой способ реализуется следующим образом. Определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный срок эксплуатации линии и времени наработки на отказ до начала эксплуатации и нормативный ток утечки изоляции. Определяют трассировку и длину контролируемой линии. С помощью датчика температуры находят температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки. Расчетным путем определяют рабочую, установившуюся, температуру изоляции и проводников при подаче через проводку максимального используемого тока. К началу линии, с помощью выключателя, подключают излучатель акустических колебаний, запитанный от генератора ВЧ-колебаний, а к концу линии, с помощью выключателя, приемник-преобразователь электрических колебаний в акустические с выходом на усилитель ВЧ-колебаний. Подстройкой частоты генератора добиваются установления в линии стоячей волны с пучностью на приемном акустическом датчике. Подстройкой нагрузки на конце линии добиваются максимального рабочего тока в линии. С помощью датчика температуры определяют реальную температуру проводки под воздействием максимального рабочего тока в линии. Подстройкой частоты ВЧ-генератора, с помощью вольтметра снова добиваются пучности на приемном акустическом датчике, регистрируют величину отклонения частоты акустических колебаний на генераторе и ток утечки изоляции, с помощью определителя тока утечки, при новых условиях. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы (например, экспоненциальной) заносят в вычислительное устройство и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации.

Еще один способ реализуют следующим образом (Рисунок 2). Определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный срок эксплуатации линии, время наработки на отказ до начала эксплуатации и

нормативный ток утечки изоляции. Определяют трассировку и длину контролируемой линии 1. Находят расчетную температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки. Расчетным путем определяют рабочую, установившуюся, температуру изоляции и проводников при подаче через проводку 1 максимального используемого тока. Определяют расчетную акустическую резонансную частоту контролируемой линии 1, а также минимальное сопротивление изоляции на концах линии 1 при этой частоте. Заданный отрезок новой электропроводной пары 2, идентичной контролируемой по материалу проводника, его сечению и изоляции помещают в среду, идентичную среде нахождения контролируемой проводки 1. После чего закрепляют на противоположных концах отрезка 2 соответственно преобразователь-излучатель электрических колебаний в акустические 3, приемник-преобразователь акустических колебаний в электрические 4. Подают через отрезок 2, с генератора ВЧ-колебаний 13, с помощью преобразователя-излучателя электрических колебаний в акустические 3, акустические колебания, полученную с приемника-преобразователя акустических колебаний в электрические 4 и усилителя ВЧ-колебаний 5 амплитуду акустических колебаний, прошедших через отрезок 2, в устройство вычисления, регистрации и отображения информации 7. Пропускают, с помощью вводного автомата 11 и регулируемой нагрузки 8, через указанный отрезок 2, электрический ток, равный суточному режиму изменения тока контролируемой проводки 1. Регистрируют на единице длины заданного отрезка 2 суточные изменения, с помощью вольтметра 10, падения напряжения, с помощью датчика температуры 9, температуру проводника и изоляции, с помощью вольтметра 10, амплитуду акустических колебаний. После чего акустические датчики 3 и 4 закрепляют на контролируемой проводке 1, регистрируют суточную динамику тока на переменной нагрузке контролируемой линии 14, с помощью амперметра 12, с помощью вольтметра 10, падение напряжения, с помощью датчика температуры 9, температуру проводки и изоляции, с помощью определителя тока утечки 6, ток утечки изоляции и с помощью вольтметра 10, амплитуду принятых акустических колебаний. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы (например, экспоненциальной) заносят в вычислительное устройство 7 и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации.

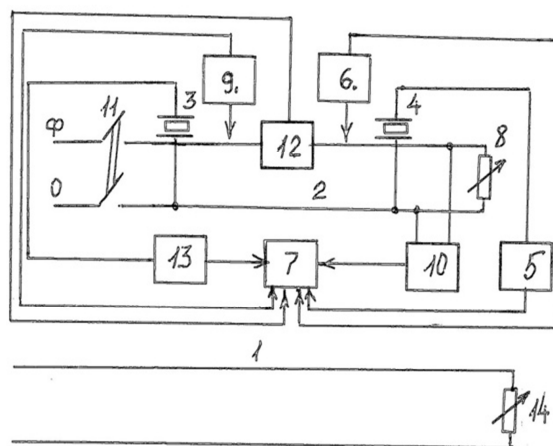


Рисунок 2

В случае, если контролируемая электропроводка не может быть задействована в полном объеме для контроля режима по каким-либо причинам технологического порядка, может быть использован следующий способ контроля.

Определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный срок эксплуатации линии, время наработки на отказ до начала эксплуатации и нормативный ток утечки изоляции. Определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем определяют диапазон рабочей, установившейся, температуры изоляции и проводников при подаче через проводку всего диапазона используемого тока в течении суток. Определяют расчетный диапазон акустических резонансных частот контролируемой линии, а также минимальное сопротивление изоляции на концах линии при этих частотах в течении суток. Заданный отрезок новой электропроводной пары, идентичной контролируемой по материалу проводника, его сечению и изоляции, нократно меньший по протяженности, помещают в среду, идентичную среде нахождения контролируемой проводки. Закрепляют на противоположных концах отрезка преобразователь-излучатель электрических колебаний в акустические и приемник-преобразователь акустических колебаний в электрические. Пропускают, с помощью вводного автомата и регулируемой нагрузки, через указанный отрезок электрический ток, равный по режиму изменения тока в течение суток в контролируемой линии. С генератора ВЧ-колебаний и преобразователя-излучателя электрических колебаний в акустические, подают через отрезок акустические колебания. Полученные с приемника-преобразователя

акустических колебаний в электрические и усиленные усилителем ВЧ-колебаний сигналы подаются на фазометр, после чего подают в устройство вычисления, регистрации и отображения информации, где пересчитываются в величины, кратные реальной протяженности контролируемой проводки. После чего, акустические датчики закрепляют на концах контролируемой проводки, прозвучивают ее, регистрируют суточную динамику тока на реальной нагрузке контролируемой линии, с помощью амперметра, с помощью вольтметра, падение напряжения, с помощью датчика температуры, температуру проводки и изоляции, с помощью определителя тока утечки, ток утечки изоляции и фазового запаздывания акустического сигнала, с фазометра. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы (например, экспоненциальной) заносят в вычислительное устройство. Определяют отношения полученных на контролируемой линии параметров к параметрам, полученным на заданной линии. Перемножают безразмерные отношения. Результат представляют в виде отрицательной степени показательной функции кривой вероятности безотказной работы. Соотносят во временном или процентном отношении к расчетному пределу работоспособности проводки и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации.

При достаточно больших отклонениях фазового сигнала контроля, для исключения неоднозначности измерения, рациональнее применять амплитудно-акустический способ, который заключается в следующем.

Определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный срок эксплуатации линии, время наработки на отказ до начала эксплуатации и нормативный ток утечки изоляции. Определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем определяют диапазон рабочей, установившейся, температуры изоляции и проводников при подаче через проводку всего диапазона используемого тока в течении суток. Определяют расчетный диапазон акустических резонансных частот контролируемой линии, а также минимальное сопротивление изоляции на концах линии при этих частотах в течении суток. Заданный отрезок новой электропроводной пары, идентичной контролируемой по материалу проводника, его сечению и изоляции, но кратно меньший по протяженности, помещают в среду, идентичную среде нахож-

дения контролируемой проводки. Закрепляют на противоположных концах отрезка соответственно - преобразователь-излучатель электрических колебаний в акустические и приемник-преобразователь акустических колебаний в электрические. Пропускают, с помощью вводного автомата и регулируемой нагрузки, через указанный отрезок электрический ток, равный режиму изменения тока в течение суток в контролируемой линии. С генератора ВЧ-колебаний и преобразователя-излучателя электрических колебаний в акустические, подают через отрезок акустические колебания. Полученную, с приемника-преобразователя акустических колебаний в электрические, амплитуду акустических колебаний, ее частотный сдвиг, вызванный изменением нагрузки в течении суток, прошедших через отрезок и усилитель ВЧ-колебаний, подают в устройство вычисления, регистрации и отображения информации, где пересчитывают в величины, кратные реальной протяженности контролируемой проводки. Регистрируют на заданном отрезке суточные изменения падения напряжения, с помощью вольтметра, температуру проводника и изоляции, с помощью датчика температуры, амплитуду акустических колебаний и сдвиг резонансной частоты, с помощью вольтметра, которые пересчитывают кратно протяженности контролируемой линии. После чего, акустические датчики закрепляют на концах контролируемой проводки, регистрируют суточную динамику тока на реальной нагрузке контролируемой линии, с помощью амперметра, с помощью вольтметра, падение напряжения, с помощью датчика температуры, температуру проводки и изоляции, с помощью определителя тока утечки, ток утечки изоляции и с помощью вольтметра, амплитуду принятых акустических колебаний и их резонансный частотный сдвиг в течении суток. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы (например, экспоненциальной), заносят в вычислительное устройство, определяют отношения полученных на контролируемой линии параметров к параметрам, полученным на заданной линии, перемножают безразмерные отношения, результат представляют в виде отрицательной степени показательной функции кривой вероятности безотказной работы, соотносят в во временном или процентном отношении к расчетному пределу работоспособности проводки и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Все основные исследования по электробезопасности проводились с целью выявления места и величины уже произошедшего нарушения электроснабжения, тогда как более злободневным является оперативная, функциональная оценка вероятности возникновения аварийной ситуации.

2. Функциональный контроль с использованием предлагаемых методов позволяет получать достоверную информацию о техническом состоянии электропроводок, выявлять основные факторы, влияющие на долговечность и количественные связи между диагностируемыми параметрами электропроводок и факторами нагрузки.

3. Функциональные испытания позволяют выявить основные виды повреждений, тем самым, оценить остаточный ресурс и дать его прогноз на заданный интервал времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л. Государственная политика в области регулирования природной и техногенной

безопасности//Актуальные проблемы регулирования природной и техногенной безопасности в XXI веке. Материалы Международной научно-практической конференции.- М.:2005.-С.27-43.

2. ГОСТ 27.002 – 90. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.

3. ГОСТ 20911 – 89. Техническая диагностика. Термины и определения.

4. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86

5. ГОСТ Р 51901 – 2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.

6. Краевая программа «Повышение энергетической эффективности экономики Алтайского края и сокращение издержек в бюджетном секторе» на 2010 – 2014 годы и на перспективу до 2020 года (в ред. Постановления Администрации Алтайского края от 11.11.2010 № 496)

7. Лепендин Л.Ф. Акустика. Уч. пособие для ВТУЗов.-М.,В.Ш., 1978. – 448с.

Костюков А. Ф. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», к.т.н., докторант,
E-mail: Kostjukovaf@mail.ru,
тел. (385-2) 36-71-29.