

УДК 621.315.61.015.5:53

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ В ОБЛАСТИ СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Н.С. Старикова, В.В. Редько
Томский политехнический университет
E-mail: nadushasns@sibmail.com

Старикова Надежда Сергеевна, студентка кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: nadushasns@sibmail.com

Область научных интересов: кабельное приборостроение.

Редько Виталий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: ultratone@tpu.ru

Область научных интересов: кабельное приборостроение.

Проведено сравнение двух методов контроля целостности изоляции: измерения электрической емкости участка кабеля в области слабых и сильных электрических полей.

Ключевые слова:

Дефекты изоляции, электроискровой контроль, контроль емкости изоляции.

Контроль целостности изоляции является одним из важнейших пунктов обеспечения высокого качества при производстве кабелей связи. Технологический контроль изоляции данного типа кабельных изделий осуществляется двумя способами: электроискровым контролем (область сильных полей) и измерением электрической емкости участка изоляции (в области слабых электрических полей);

однако в связи с наличием жестких требований к эксплуатации измерители емкости используются не на каждой технологической линии. В результате проведенных исследований было выявлено, что на кабельном производстве при электроискровом контроле достоверно обнаруживаются дефекты, размер которых составляет не менее 70 % от толщины бездефектной изоляции, что не позволяет обнаруживать такие дефекты, как локальные утонения (рис. 1), утолщения (рис. 2), порезы изоляции (рис. 3).

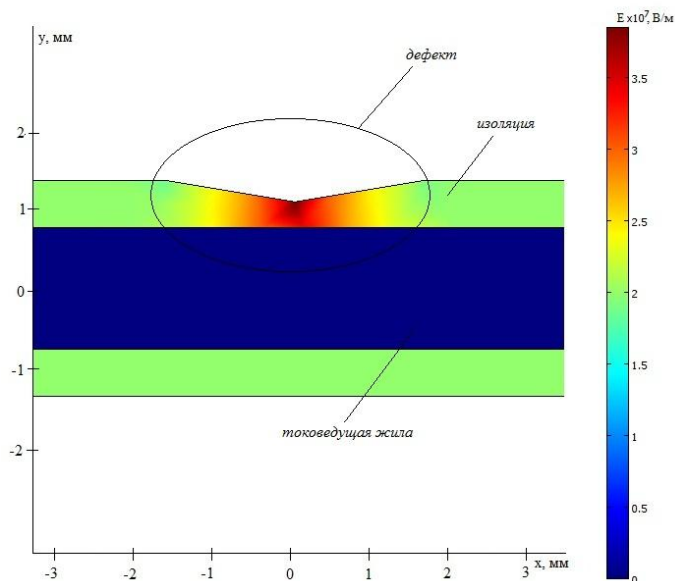


Рис. 1. Дефект изоляции «локальное утонение»

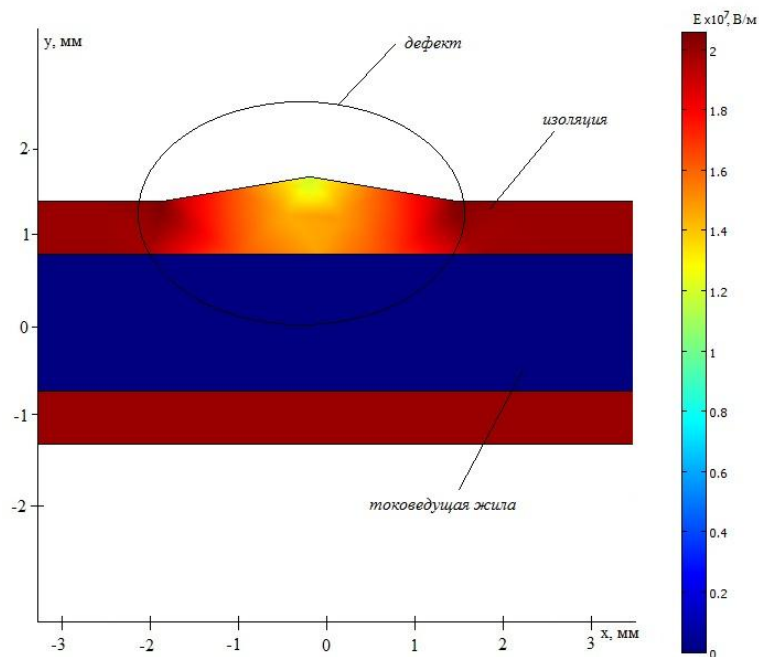


Рис. 2. Дефект изоляции «локальное утолщение»

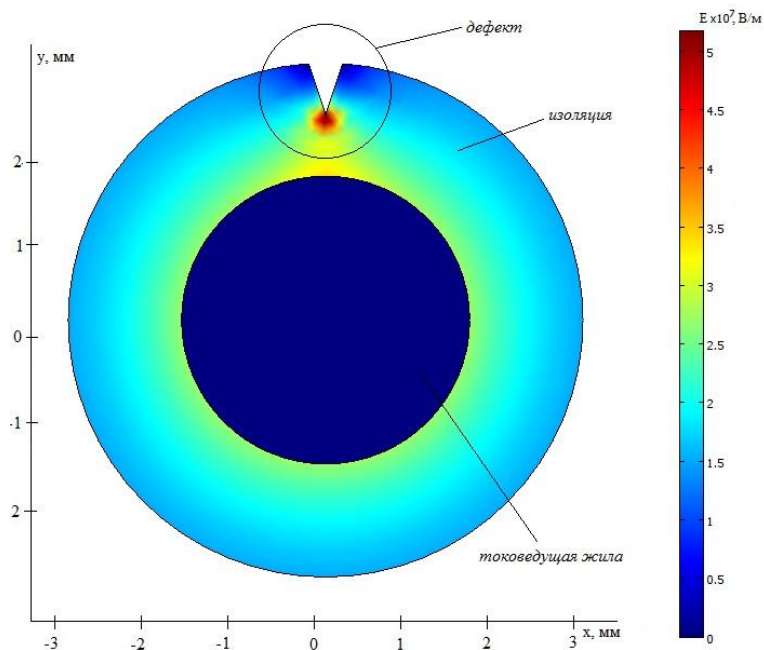


Рис. 3. Дефект изоляции «порез»

Чтобы увеличить информативность контроля, обеспечить обнаружение более мелких дефектов, было предложено проводить контроль электрической емкости изоляции участка кабеля в области сильных электрических полей (областью сильных электрических полей можно называть поля, напряженность которых более 30 кВ/см [3], пробивная напряженность воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре +18 °С). Для подтверждения эффективности данного метода необходимо сравнить измерения электрической емкости участка кабеля в области сильных и слабых электрических полей.

Для измерения электрической емкости необходимо приложить разность потенциалов между поверхностью изоляции и токоведущей жилой. Таким образом, данный объект контроля можно представить как цилиндрический конденсатор (рис. 4), электрическая емкость которого описывается зависимостью от диэлектрической проницаемости изоляции (ϵ_r) и геометрических параметров конденсатора [1]:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$$

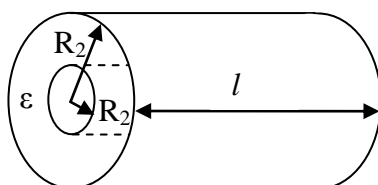


Рис. 4. Модель кабеля связи в виде цилиндрического конденсатора

Необходимо найти зависимости величины электрической емкости от размеров дефектов при проведении измерений в области сильных и слабых электрических полей.

Для упрощения поставленной задачи был взят плоский конденсатор с неоднородным диэлектриком. Моделью дефекта является параллелепипед с размерами $a \times b \times c$ (высота, длина, ширина соответственно) (рис. 5).

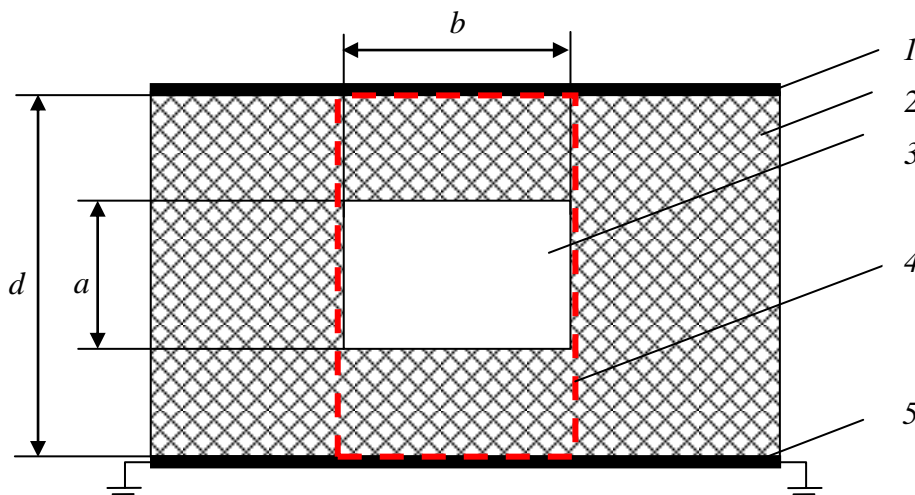


Рис. 5. Модель изоляции кабеля с воздушным включением: 1 – электрод (обкладка конденсатора); 2 – диэлектрик; 3 – воздушная полость (дефект); 4 – граница дефектного участка изоляции; 5 – жила кабеля (обкладка конденсатора)

При известных геометрических размерах емкость плоского конденсатора описывается зависимостью

$$C = \epsilon_0\epsilon_r \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная; ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость; S – площадь обкладки конденсатора; d – расстояние между обкладками.

Эквивалентная емкость модели участка изоляции (рис. 5) состоит из двух составляющих: емкости дефектного и бездефектного участков, которые соединены параллельно.

Электрической схемой замещения дефектного участка изоляции $d \times b \times c$ (рис. 5) является последовательное соединение емкостей воздушной полости C_v и изоляционного материала C_n (геометрические размеры которого $(d-a) \times b \times c$). Согласно формуле (1) была найдена результирующая емкость дефектного участка C_d :

$$C_d = \frac{C_b \cdot C_i}{C_b + C_i} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r^b \cdot \varepsilon_r^n \cdot b \cdot c}{\varepsilon_r^b \cdot (d - a) + \varepsilon_r^n \cdot a}, \quad (2)$$

где ε_r^n – диэлектрическая проницаемость изоляционного материала; ε_r^b – диэлектрическая проницаемость воздуха.

Формула (2) отражает зависимость результирующей емкости от размера дефекта при измерениях в слабых электрических полях. При измерениях в сильных электрических полях в воздушной полости будут происходить электрические разряды высокой интенсивности, и область дефекта будет обладать высокой проводимостью. Исходя из этого, зависимость емкости дефектного участка кабеля от величины дефекта:

$$C_d = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r^n \cdot \frac{b \cdot c}{(d - a)}. \quad (3)$$

Проведя анализ формул (2) и (3), можно сделать вывод, что характер зависимостей различен.

Для проверки данных теоретических выкладок в программной среде Comsol Multiphysics была создана модель участка изоляции кабеля в виде плоского конденсатора с двухслойным диэлектриком (ПВХ изоляция и воздух). Расчет электрической емкости был проведен по известной формуле $C = Q/U$ [2].

Заряд Q определен с помощью теоремы Гаусса в интегральной форме по следующей формуле [2]:

$$Q = \oint_S D ds,$$

Где D – вектор электрического смещения; ds – элементарная площадка на поверхности диэлектрика.

Согласно построенным графикам (рис. 6) можно отметить, что зависимости в областях сильных и слабых полей различны: с увеличением размера дефекта в области слабых полей электрическая емкость постепенно уменьшается, а в области сильных полей – экспоненциально увеличивается. Для определения коэффициента изменения емкости участка изоляции при наличии (C_d) и отсутствии дефекта (C_0) (чувствительности) введено дополнительное обозначение k :

$$k = \frac{C_0}{C_d} \quad \text{при измерениях в области сильных полей;}$$

$$k = \frac{C_d}{C_0} \quad \text{при измерениях в области слабых полей.}$$

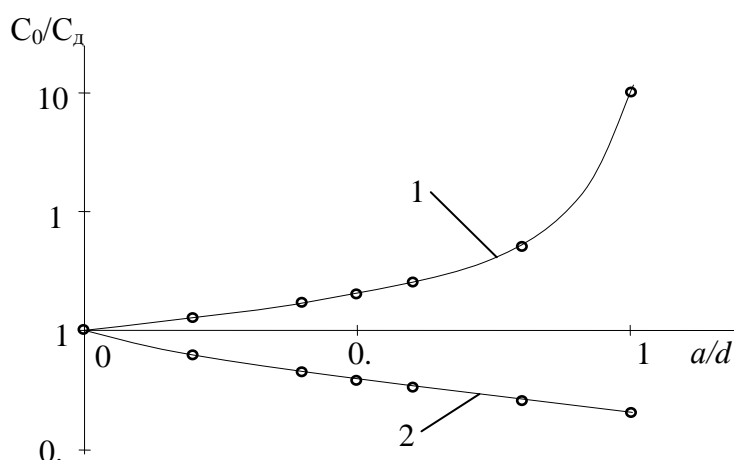


Рис. 6. Зависимость относительного значения емкости от относительного размера дефекта в области сильных (1) и слабых (2) полей (где относительное значение емкости – отношение емкости бездефектного участка кабеля к емкости участка кабеля с дефектом (воздушная полость)).

Чувствительность при измерениях в области слабых полей незначительно выше, чем при измерениях в области сильных полей, до тех пор пока размер дефекта не превысит 70 % от бездефектной толщины изоляции (рис. 7). При большем размере дефекта чувствительность измерения в области сильных полей выше, причем данный параметр увеличивается экспоненциально.

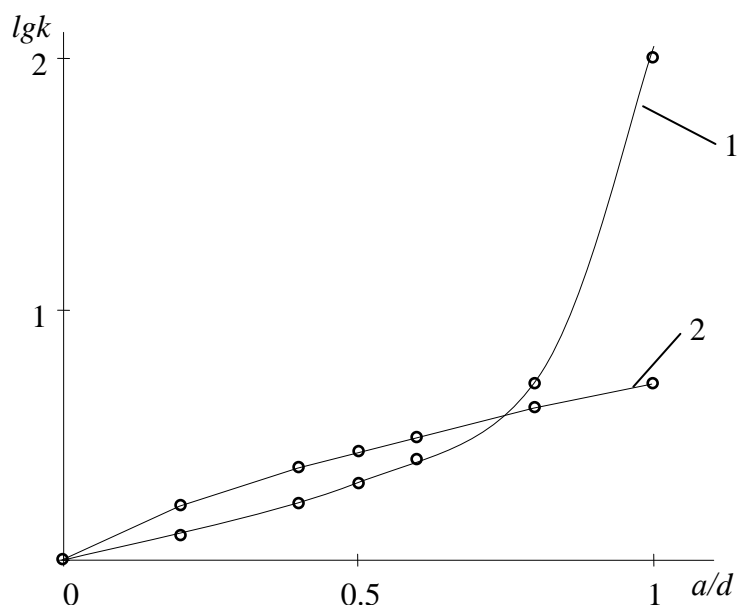


Рис. 7. Изменение чувствительности измерения емкости в области сильных (1) и слабых (2) полей при увеличении размера дефекта

В данной статье были рассмотрены измерения электрической емкости изоляции участка кабеля в области слабых и сильных электрических полей. По результатам приведенных графиков можно отметить, что чувствительность измерений небольших дефектов для двух способов примерно одинакова, при наличии же больших дефектов эффективнее проводить измерения в области сильных полей.

Для реализации измерителя емкости в области сильных электрических полей нет необходимости введения дополнительного прибора в технологическую линию (данный способ контроля можно конструктивно совместить с электроискровым контролем), что делает данный способ контроля предпочтительнее измерений в области слабых полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрический конденсатор // Свободная энциклопедия «Википедия». 2013. URL: <https://ru.wikipedia.org>, свободный (дата обращения: 23.03.13).
2. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1960. – 462 с.
3. Справочник по электротехническим материалам: в 3 т. / под ред. Ю.В. Корицкого и др. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – Т. 1. – 368 с.

Поступила 01.07.2013 г.