

ИЗОЛЯЦИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ КАК ОБЪЕКТ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В.В. Редько, Л.Б. Бурцева, Л.А. Редько

Томский политехнический университет

E-mail: ultratone@rambler.ru

Анализируется связь параметров изоляции кабельных изделий, режимов ее контроля и особенностей технологического процесса с требованиями к энергетическим характеристикам испытательного оборудования. Полученные результаты позволяют производить анализ влияния параметров изоляции и технологического процесса на требуемую электрическую мощность испытательного оборудования

Ключевые слова:

Кабельные изделия, изоляция, электроискровой контроль, испытательное напряжение.

Key words:

Cable product, isolation, electrospark control, test voltage.

Важным параметром кабельного изделия, определяющее его эксплуатационные характеристики, является целостность изоляции. С целью обеспечения высокого качества продукции на технологической линии кабельное изделие подвергается контролю электроискровым методом. Суть данного метода заключается в том, что при движении изделия по технологической линии к поверхности его изоляции прикладывается высокое напряжение посредством специального электрода, а токопроводящая жила, броня или экран заземляется. При попадании дефектного участка кабельного изделия в поле испытаний происходит искровой разряд, что фиксируется электроискровым дефектоскопом (далее испытателем).

Важным параметром испытателя является его возможность воспроизводить условия испытаний. Для этого он должен обладать достаточной мощностью, чтобы обеспечить необходимую величину испытательного напряжения на изоляции контролируемого кабельного изделия. Так же должна быть обеспечена и жесткость внешней характеристики источника высокого напряжения при изменениях электрических параметров объекта контроля и режимов технологического процесса. Недостаточная мощность испытателя приведет к снижению достоверности контроля. Необоснованно завышенная мощность приведет к увеличению затрат на контроль и снижению электробезопасности. В настоящее время требуемые энергетические параметры испытателей определяются исходя из требований руководящего документа [1]. Требования носят общий характер и не учитывают особенностей конкретного производства и параметров изоляции контролируемого кабельного изделия. В связи с этим возникла необходимость в создании методики определения энергетических параметров испытателей с учетом электрических параметров изоляции и особенностями технологического процесса. Ниже приведены результаты исследований, устанавливающие такую взаимосвязь. Исследования подлежали следующие зависимости:

- распределение испытательного напряжения по поверхности контролируемой изоляции;
- изменение погонной электрической емкости изоляции при повышенных напряжениях;
- изменение диэлектрических потерь в изоляции при повышенных напряжениях;
- влияние параметров технологического процесса на электрические характеристики контролируемой изоляции.

Зависимость распределения высокого напряжения по поверхности контролируемой изоляции является важным фактором электроискрового метода. Это связано с тем, что в зависимости от условий испытаний расстояние, на которое способно распространиться испытательное напряжение от точки приложения к изоляции, должно учитываться при расчете длины электрода испытателя. От выбора длины электрода зависит выбор мощности источника испытательного напряжения. Эксперимент по исследованию распределения испытательного напряжения на поверхности изоляции схематично представлен на рис. 1.

В качестве источника высокого испытательного напряжения $U_{исп}$ использовался комплекс оборудования, состоящего из генератора сигналов Tabor WW5061, усилителя мощности Volta PA-1200 и высоковольтного трансформатора ТрК-3–53ВВ. Рабочий диапазон частот высоковольтного генератора составлял 50...10000 Гц, амплитуда напряжения 0,1...30 кВ, мощность 500 Вт, внутреннее сопротивление менее 200 кОм. Напряжение измерялось согласованной парой, состоящей из осциллографического делителя Textronix P6015A и цифрового осциллографа LeCroy WJ314.

На рис. 2 приведены диаграммы распределения напряжения по поверхности сухой изоляции резинового кабеля марки ПРСН 2×2,5.

На основе полученных результатов, в том числе и при других напряжениях были рассчитаны зависимости удлинения электрода испытателя от изменения амплитуды и частоты повторения испытательного напряжения. Расчеты проводились графически.

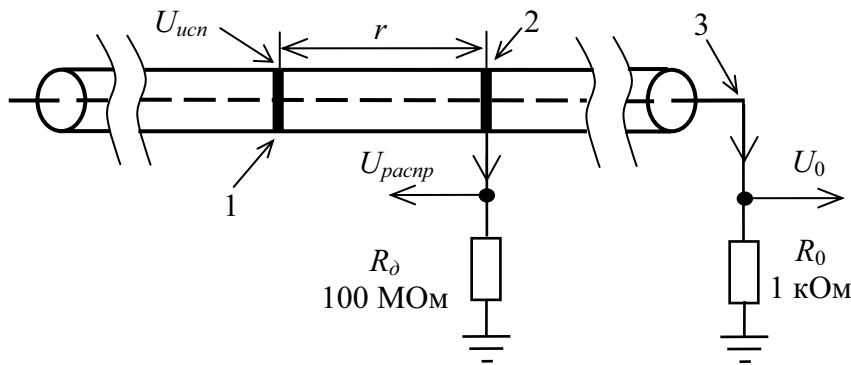


Рис. 1. Схема эксперимента по исследованию распределения высокого напряжения по поверхности изоляции контролируемого кабеля: 1) кольцевой электрод, к которому прикладывается испытательное напряжение $U_{исп}$; 2) кольцевой электрод, на котором измеряется напряжение распределения $U_{распр}$; 3) жила кабельного изделия, заземленная через резистор R_0 , $R_д$ – сопротивление высоковольтного делителя напряжения

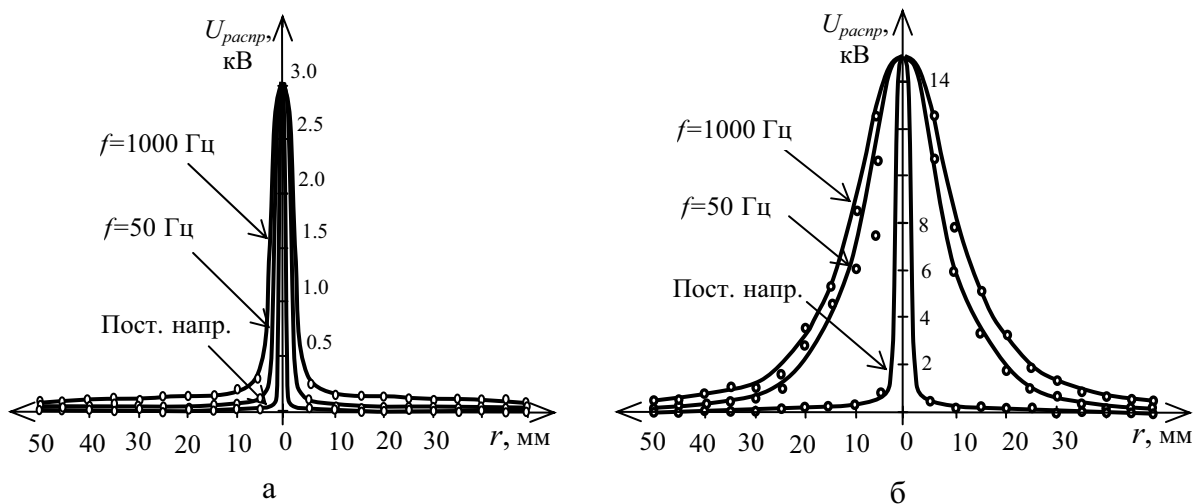


Рис. 2. Распределение испытательного напряжения по поверхности испытуемого кабеля марки ПРСН 2?2,5 при $U_{исп}$: а) 3; б) 15 кВ

В осях каждой из приведенных выше зависимостей строилась область прямоугольной формы, площадь которой была равна площади под кривой. Высота прямоугольной области была равна величине испытательного напряжения. Ширина области и являлась искомым расстоянием, которое необходимо учитывать при проектировании испытательного оборудования. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

В технике высоких напряжений известны работы, посвященные скользящим разрядам вдоль поверхности диэлектрика. Длину канала $L_{ск}$ скользящего разряда в зависимости от приложенного напряжения $U_{исп}$ и удельной поверхностной емкости C можно определить по эмпирической формуле Тэплера [2]:

$$L_{ск} = \chi C^2 U^5 \sqrt{dU/dt},$$

где χ – коэффициент, определяемый опытным путем.

Если предположить, что длина скользящих разрядов связана с распределением напряжения по поверхности изоляции, то формула Тэплера соответствует зависимостям, приведенным на рис. 2. На этих кривых видно, что влияние частоты испытательного напряжения на распределение его

по поверхности изоляции невелико, основное влияние оказывает амплитуда. Таким образом, формулу Тэплера можно использовать при проектировании испытательного оборудования. Рассчитать теоретически все требуемые изоляционные расстояния для конструкции испытателя невозможно, так как изначально точно неизвестен коэффициент χ . Однако полезно знать зависимости пробивных расстояний от влияния частоты и амплитуды испытательного напряжения.

На характер распределения испытательного напряжения влияют также особенности технологического процесса производства кабельных изделий, такие как увлажненность и загрязненность поверхности изоляции. Наиболее существенное влияние на распределение оказывает увлажненность поверхности изоляции. Вода имеет низкое значение удельного объемного сопротивления (около $10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) [2]. Действующие стандарты, регламентирующие данный вид контроля, требуют обязательного съема воды с изоляции кабельного изделия на технологических линиях. Съем воды производится механически с помощью мягких щеток или обдува технологическим воздухом. Однако

встречаются технологические линии, не содержащие устройства съема воды. Их доля составляет менее 10 % от общего числа. Капли воды и их наборы образуют участки с равным потенциалом на поверхности испытуемой изоляции. Тем самым значительно увеличивается расстояние $l_{удл}$ распределения высокого напряжения, что требует большей электрической мощности от испытателя.

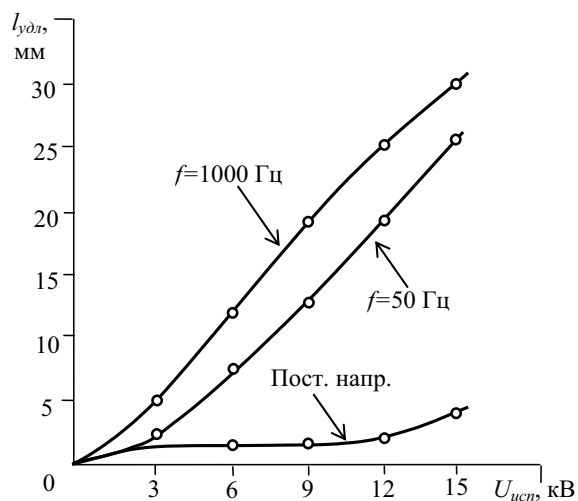


Рис. 3. Зависимости удлинения электродного узла $l_{удл}$ при испытаниях резиновой изоляции сухого кабеля от величины испытательного напряжения на различных частотах

Исследование зависимости погонной электрической емкости и диэлектрических потерь в изоляции при повышенных напряжениях является важной задачей в связи с тем, что контроль осуществляется при напряжениях, многократно превышающих рабочее для изоляции. Соотношение контролирующего и рабочего напряжения может достигать трех порядков. Например, для автотракторного провода марки ПГВА с поливинилхлоридной изоляцией, медной жилой сечением 95 мм² и толщиной изоляции 3,5 мм рабочее напряжение со-

ставляет 48 В, а контролирующее напряжение на технологической линии должно быть не менее 40 кВ амплитудного значения в соответствии с [3].

На рис. 4, а, приведены зависимости погонной емкости изоляции $C_{из}$ кабеля ПРСН 2×2,5 от напряженности электрического поля на различных частотах. Схема эксперимента соответствовала рис. 1. Отличия заключались лишь в том, что между кольцевыми электродами на всем промежутке устанавливался электрод из набора шариковых цепей. Количество цепей 100, диаметр шара 3,2 мм, расстояние между шарами 2,5 мм. Такая конструкция электрода является наиболее часто используемой для испытателей изоляции кабельных изделий [1].

Значения величин погонных емкости и сопротивления изоляции рассчитывались по формулам:

$$C_{из} = \frac{U_0 \sin \varphi}{U_{исп} R_0 \omega}, \quad R_{из} = \frac{U_{исп} R_0 \cos \varphi}{U_0}, \quad \text{где } \varphi - \text{угол фазового сдвига между напряжениями } U_{исп} \text{ и } U_0.$$

Из графиков видно, что с ростом напряженности погонная емкость существенно возрастает. Для линейных диэлектриков, используемых главным образом в качестве электрической изоляции кабельных изделий, диэлектрическая проницаемость ϵ в большинстве случаев может считаться практически не зависящей от напряжения, приложенного к диэлектрику [4]. Рост погонной емкости обуславливается двумя факторами: улучшением качества контакта электродов испытателя и поверхности изоляции и увеличением расстояния растекания высокого испытательного напряжения.

На рис. 4, б, приведены зависимости суммы диэлектрических потерь в изоляции и потерь на коронные разряды, пересчитанных в эквивалент погонного сопротивления от напряженности электрического поля на различных частотах. Уровни напряженности электрического поля при технологическом контроле соответствуют 20 кВ/мм [3]. Из графиков видно, что с ростом напряженности погонное сопротивление существенно снижается.

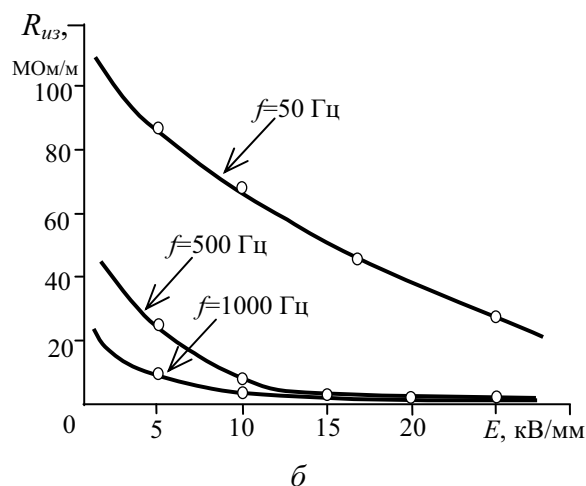
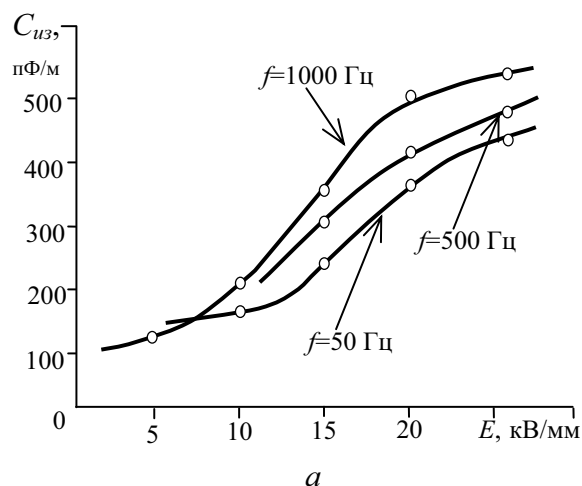


Рис. 4. Зависимости погонной емкости $C_{из}$ (а) и эквивалентного сопротивления $R_{из}$ (б) диэлектрических потерь резиновой изоляции сухого кабеля от напряженности электрического поля E на различных частотах

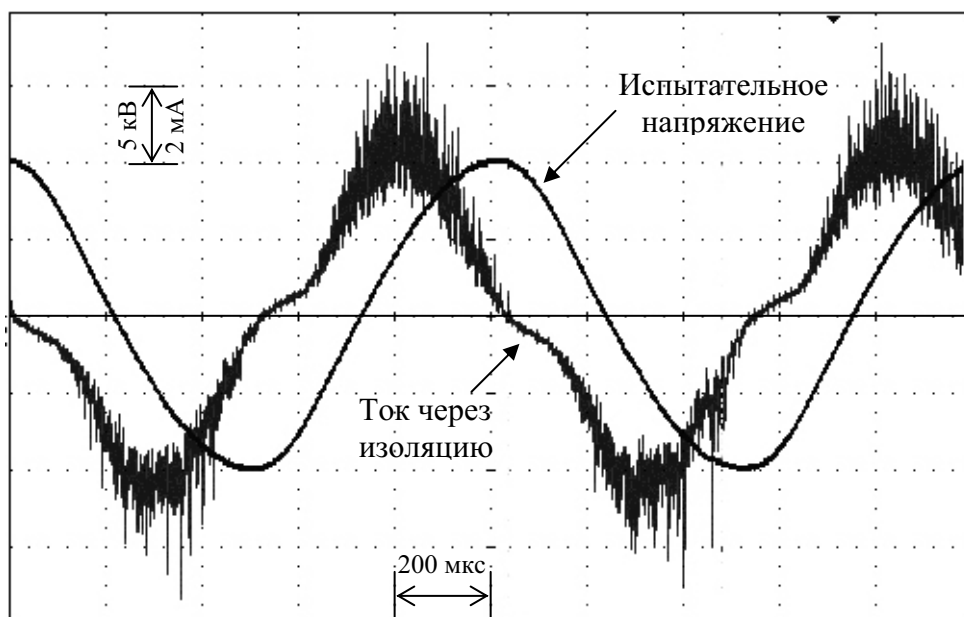


Рис. 5. Осциллограмма испытательного напряжения и тока через изоляцию кабеля марки ПРСН 2х2,5

Происходит это по трем причинам: с ростом напряжения улучшается качество контакта электродов испытателя с поверхностью изоляции и увеличивается расстояние, на которое распределяется испытательное напряжение, а также происходит рост диэлектрических потерь в самой изоляции и потерь на коронные разряды.

Из приведенных выше зависимостей можно сделать вывод о нелинейности активной и емкостной составляющих сопротивления изоляции ка-

бельного изделия при высоковольтных испытаниях. Подтверждением этого предположения является осциллограмма испытательного напряжения и тока через изоляцию, рис. 5.

Полученные результаты позволяют производить анализ влияния параметров изоляции и технологического процесса на требуемую электрическую мощность испытательного оборудования. Планируется создание рабочей методики расчета требуемой мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 16.14.640-88. ОСТПП. Кабели, провода и шнуры. Испытание напряжением на проход. Типовой технологический процесс.
2. Техника высоких напряжений / под ред. Д.В. Разевига. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 471 с.
3. ГОСТ 23286-78. КАБЕЛИ, ПРОВОДА И ШНУРЫ. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.
4. Сканави Г.И. Физика диэлектриков. Область сильных полей. – М.: Физматгиз, 1958. – 907 с.

Поступила 24.03.2010 г.