

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ ВЫСОКИМ ПОСТОЯННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

В.В. Редько, Е.В. Якимов

Томский политехнический университет

ООО «НИИ Эрмис», г. Томск

E-mail: ultratone@rambler.ru

Анализируется состояние вопроса динамических испытаний изоляции кабельных изделий высоким постоянным напряжением в России и за рубежом. Приводятся результаты экспериментов, подтверждающие правомерность данного вида испытаний. Целью статьи является продвижение динамических испытаний изоляции постоянным напряжением в России.

В процессе производства электрического кабеля его изоляция контролируется на целостность высоким напряжением. Происходит это непосредственно на экструзионных линиях при движении кабеля со скоростью до 50 м/с. К каждому участку изоляции прикладывается высокое испытательное напряжение на время от сотен мкс до десятков мс. Такие испытания являются динамическими [1].

Область динамических испытаний изоляции в мире изучена слабо. Во многих случаях пользуются теоретической и экспериментальной базой статических испытаний, что не всегда оправдано. В России динамические испытания проводятся только переменным напряжением [2, 3]. За рубежом переменным и постоянным, что строго регламентируется национальными стандартами [4, 5]. Затраты на контроль постоянным напряжением значительно ниже затрат на контроль переменным напряжением. Слабая теоретическая и экспериментальная проработка этого вопроса привела к тому, что в России динамические испытания постоянным напряжением не допускаются, что приводит к увеличению затрат на контроль. Поэтому возникла необходимость в исследованиях, направленных на продвижение динамических испытаний постоянным напряжением в России.

Исследования могут быть использованы для внесения предложений об изменениях в [2], в части испытаний постоянным напряжением. Это позволит российским производителям кабельной продукции снизить издержки на производство. Стоимость испытателей с переменным напряжением составляет, как правило, 5...7 тыс. USD; с постоянным напряжением — около 3 тыс. USD. На кабельных заводах в среднем используется около 30 высоковольтных испытателей изоляции. Всего в России кабельных предприятий около 200. Ожидается, что не менее трети испытателей могут работать с постоянным напряжением. В этом случае уже на первом этапе модернизации производств общий экономический эффект в отрасли может достигать 2...4 млн USD.

За рубежом высоковольтные испытания изоляции кабелей и проводов регламентируются стандартами: BS 5099 и BS EN 50356 (Великобритания), CENELEC TC 20 (общеевропейский), UL 1581 (США) и MIL W16878 (США) и др.

Изоляция электрического кабеля представляет собой, прежде всего электрическую емкость. Для одного и того же кабеля энергия перезаряда емкости изоляции переменным напряжением выражается следующим соотношением (для трех периодов испытательного напряжения по ГОСТ 2990, BS 5099, UL 1581, CENELEC TC 20):

$$W_{\sim} = 3\pi U_{исп}^2 C_{из}.$$

Энергия заряда на постоянном напряжении:

$$W_{-} = \frac{U_{исп}^2 C_{из}}{2},$$

где $U_{исп}$ — амплитуда испытательного напряжения, $C_{из}$ — электрическая емкость изоляции кабеля.

Из приведенных зависимостей видно, что для испытаний постоянным напряжением одной и той же изоляции требуется источник приблизительно в 20 раз меньшей мощности, чем при испытаниях переменным напряжением. В связи с малой мощностью испытатели с постоянным напряжением являются более безопасными для обслуживающего персонала. Например, у высоковольтного испытателя с максимальным испытательным напряжением $U_{исп}=10$ кВ, работающего на изоляцию $C_{из}=200$ пФ при времени приложения напряжения к каждому участку кабеля 1 мс, требуется мощность источника высокого напряжения всего 10 Вт. Как правило, высоковольтные источники такой мощности имеют ток короткого замыкания единицы мА. Высоковольтные испытатели изоляции, работающие на переменном токе, в аналогичной ситуации могут иметь ток короткого замыкания десятки мА, что превысит предельно допустимый уровень отпускающего тока для человека.

Обзор рынка высоковольтных испытателей изоляции, а также анализ некоторых стандартов промышленно развитых стран показал, что в мире широко используются динамические испытания изоляции кабеля постоянным напряжением. К примеру, в стандарте BS 5099:2004 [4] оговариваются уровни испытательных напряжений для испытаний изоляции и оболочек кабельных изделий постоянным, переменным и импульсным напряжением. В стандарте BS EN 50356:2002 оговариваются требования к аппаратуре и методике проведения испытаний. Причем стандарт BS EN 50356:2002 яв-

ляется национальной версией Великобритании общеевропейского стандарта CENELEC TC 20. В группу CENELEC входят следующие страны: Австрия, Бельгия, Чешская республика, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Исландия, Ирландия, Италия, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Норвегия, Португалия, Испания, Швеции, Швейцария и Великобритания [5].

В подтверждение возможности испытаний постоянным напряжением были проведены эксперименты по выявлению дефектов в изоляции нескольких типов проводов. На рис. 1 и 2 приводятся результаты испытаний проводов кабеля связи КСПВ 4×0,12 и проводов LAN кабеля КССПВ UTP 4 Cat. 5e с электродным узлом типа «бусинковая цепочка» [5]. Длина электродного узла составляла 150 мм, время нахождения контролируемого участка изоляции в электродном узле 10 мс, а скорость движения провода 900 м/мин. Дефектный участок изоляции каждого провода пропусклся через электродный узел по 100 раз для каждого вида и величины испытательного напряжения. Величина напряжения изменялась от максимальной к минимальной. В качестве детектора дефекта использовался датчик максимального тока в цепи электродного узла. Чувствительность детектора устанавливалась для каждого вида испытаний отдельно и была максимально возможной, с которой при прохождении бездефектного участка изоляции через электродный узел в количестве 100 раз не происходило ни одного ложного срабатывания. На рис. 1 по осям ординат отложены величины испытательного напряжения, а по осям абсцисс количество зафиксированных дефектов. Подобные испытания проводились еще для нескольких типов монтажных проводов и проводов кабелей связи. Результаты экспериментов были схожими с приведенными ниже. По этой причине приведены только две диаграммы.

Таблица. Значения испытательных напряжений для проводов кабелей КСПВ 4×0,12 и КССПВ UTP 4 Cat. 5e

Вид испытательного напряжения	Величина испытательного напряжения, кВ			
	Провод КСПВ 4×0,12, толщина изоляции 0,23 мм		Провод КССПВ UTP 4 Cat. 5e, толщина изоляции 0,2 мм	
	ГОСТ 23286-78	BS 5099:2004	ГОСТ 23286-78	BS 5099:2004
Переменное, 3 кГц	3,54	5	2,83	4
Переменное, 50 Гц (5 ампл.)	—	4	(4 ампл.)	3
Постоянное	—	6	—	5

В таблице приводятся значения испытательных напряжений в соответствии со стандартами ГОСТ 23286-78 и BS 5099:2004. Отличия требований стандартов заключается не только в величинах испытательных напряжений, но и в их зависимости от формы и частоты напряжений и типа изоляции. В стандарте ГОСТ 23286-78 нет зависимости величины испытательного напряжения от его формы и частоты, но есть разделение на резиновую и пластмассовую изоляцию. Испытательное напряжение

указывается в амплитудных значениях. В стандарте BS 5099:2004 нет разделения по типам изоляции, но присутствует разделение по форме и частоте испытательного напряжения. Испытательное напряжение указывается в действующих значениях.

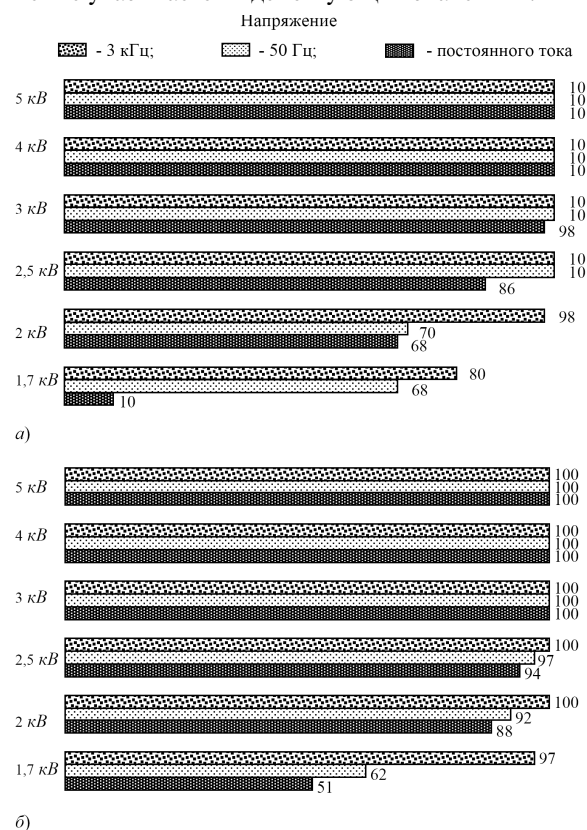


Рис. 1. Статистика динамических испытаний а) проводов кабеля связи КСПВ 4×0,12; б) проводов LAN кабеля КССПВ UTP 4 Cat. 5e

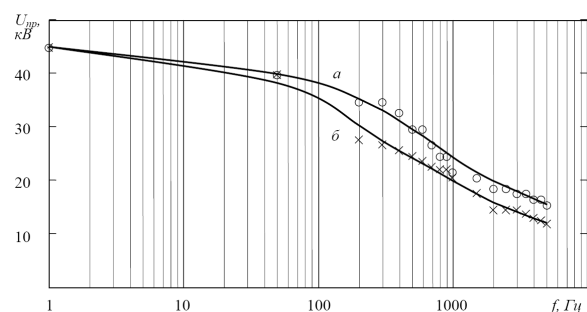


Рис. 2. Экспериментальные зависимости пробивных напряжений от частоты для здоровой изоляции проводов кабеля: а) КСПВ 4×0,12; б) КССПВ UTP 4 Cat. 5e

Из приведенных на рис. 1 диаграмм видно, что при величинах напряжений, указанных в BS 5099:2004 и даже несколько ниже, испытания постоянным напряжением не уступают по достоверности испытаниям переменным напряжением частотой 50 и 3000 Гц. Однако при снижении испытательного напряжения достоверность испытаний постоянным напряжением уменьшается раньше. Для обеспечения надежного контроля величина постоянного испытательного напряжения должна

быть выше величины переменного напряжения на 30...50 %. Из экспериментальных зависимостей пробивных напряжений от частоты для проводов кабеля КСПВ 4×0,12 и кабеля КССПВ УТР 4 Cat. 5e, рис. 2, видно, что это можно делать без опасения повредить качественную изоляцию.

Результаты первых экспериментов доказали правомерность динамических испытаний изоляции кабеля постоянным напряжением для некоторых типов изоляции. Конечно, нельзя говорить о том, что испытания постоянным напряжением мо-

гут полностью вытеснить испытания переменным напряжением. Существует ряд кабельных изделий, которые должны быть испытаны только переменным напряжением, но там, где это возможно необходимо снижать затраты на контроль.

В дальнейшем предстоит проведение более глубоких экспериментальных исследований и проработка теоретических обоснований их результатов, а также разработка методики проведения таких испытаний.

Исследования проводились при поддержке Совета по грантам Президента РФ, грант № МК-880.2007.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеблевская Л.А., Черневский И.Н. Исследование эффективности испытаний изолированных жил и проводов аппаратами непрерывного контроля // Труды ВНИИ кабельной промышленности. – М.: ВНИИКП, 1974. – С. 217–232.
2. ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением.
3. ГОСТ 23286-78. Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением.
4. British standard BS 5099:2004. Electric cables – Voltage levels for spark testing.
5. British standard BS EN 50356:2002. Method for spark testing of cables.

Поступила 30.01.2008 г.

УДК 661.879+621.365+621.314

СИСТЕМА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО РОБОТА

Ю.Н. Дементьев, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков

Томский политехнический университет
E-mail: vlad@elti.tpu.ru

Предложена система геометрической адаптации для действующего макета специализированного робототехнологического комплекса. Представлена функциональная схема системы управления углом наклона в функции пространственного положения сварочной ванны в соответствии с требуемым законом при любом диаметре трубы и скорости сварки.

1. Введение

Автоматизация процесса сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов имеет свои специфические особенности, главная из которых, постоянно изменяющееся пространственное положение сварочной ванны от нижнего до потолочного. Этой особенностью определяются требования к выбору кинематической схемы технологического процесса, системе питания сварочной дуги и в целом управлению роботом.

Анализ существующих способов сварки показал, что в настоящее время автоматизация процесса сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов может быть осуществлена на основе нового комплексного подхода, заключающегося в применении технологической и геометрической адаптации процесса сварки в функции изменяющегося пространственного положения сварочной ванны. Для практического решения этой проблемы, как показывает отечественный и зарубежный опыт, необходимо создание специализированного

робота, оснащенного средствами геометрической и технологической адаптации.

В статье представлены некоторые результаты по разработке системы геометрической адаптации для действующего макета специализированного робототехнологического комплекса.

Особенности автоматизации сварки неповоротных стыков

Процесс автоматизации сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов достаточно сложен, хотя как объект неповоротный стык имеет геометрию, поддающуюся автоматизации традиционными средствами.

Действующие в процессе сварки неповоротных стыков труб возмущения обусловлены:

- колебаниями напряжения питающей сети и нестабильностью работы оборудования;
- нестабильностью геометрии разделки стыка по длине;