

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ «НА ПРОХОД» ПОСТОЯННЫМ ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

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 микросекунд до десятков миллисекунд. Такие испытания являются динамическими и относятся к категории «ЭИ-2» [1, 2]. Область динамических испытаний изоляции в мире изучена слабо. Во многих случаях пользуются теоретической и экспериментальной базой статических испытаний, что не всегда оправдано. В РФ динамические испытания проводятся только переменным напряжением. В европейских странах и США переменным и постоянным, что регламентируется стандартами. Затраты на контроль постоянным напряжением значительно ниже, чем на контроль переменным напряжением. Слабая теоретическая и экспериментальная проработка этого вопроса привела к тому, что в РФ динамические испытания постоянным напряжением не допускаются, что приводит к увеличению затрат на производство.

Вследствие этого возникла необходимость в исследованиях, направленных на продвижение динамических испытаний постоянным напряжением в РФ. Результаты исследования могут быть использованы для внесения предложений об изменениях в ГОСТ 2990–78 «Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением», в части испытаний постоянным напряжением. Это позволит российским производителям кабельной продукции снизить издержки на контроль.

За рубежом высоковольтные испытания изоляции кабелей и проводов регламентируются стандартами: BS 5099 и BS EN 50356 (Великобритания), МЭК 62230, CENELEC TC 20, UL 1581 (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)

$$W_{\Sigma} = 3\pi U_{исп}^2 C_{из}$$

Энергия заряда на постоянном напряжении:

$$W_{\Sigma} = U_{исп}^2 C_{из} / 2,$$

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 емкостью  $C_{из} = 200$  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 миллиампер. Высоковольтные испытатели изоляции, работающие на переменном токе, в аналогичной ситуации могут иметь ток короткого замыкания десятки миллиампер, что

**А.Р. Свендровский**, канд. техн. наук, директор;  
**В.В. Редько**, канд. техн. наук, начальник отдела  
высоковольтной техники;  
ООО «НИИ ЭРМИС»

превысит предельно допустимый уровень отпускающего тока для человека.

Более того, на многих российских кабельных заводах уже используются высоковольтные испытатели изоляции с постоянным контролирующим напряжением. Они были закуплены в составе готовых линий еще в годы существования Советского Союза. В соответствии с ГОСТ 2990 такие аппараты на российских предприятиях устанавливать нельзя, поэтому метрологические службы кабельных предприятий вынуждены устанавливать их на линии и оформлять различными «обходными путями», что само по себе ненормально.

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 [3] 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 является 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 [4].

В подтверждение возможности испытаний постоянным напряжением были проведены эксперименты по выявлению дефектов в изоляции нескольких типов проводов. На рис. 1 приводятся результаты испытаний изолированных жил кабеля связи КСПВ 4 × 0,12 и LAN-кабеля КССПВ УТФ 4 Cat. 5е с электродным узлом типа «бусинковая цепочка» [4–6]. Длина электродного узла составляла  $l_{узда} = 150$  мм, время нахождения контролируемого участка изоляции в электродном узле  $t = 10$  мс, а скорость движения провода  $v = 900$  м/мин. Дефектный участок изоляции каждого провода пропускаться через электродный узел по 100 раз для каждого вида и величины испытательного напряжения. Величина напряжения изменялась от максимальной до 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 оси ординат отложены величины испытательного напряжения (действующие значения), а по оси абсцисс количество зафиксированных дефектов. Подобные испытания проводились еще для нескольких типов монтажных проводов и изолированных жил кабелей связи. Результаты экспериментов были схожими с приведенными ранее. По этой причине ниже приведены только две диаграммы.

**Значения испытательных напряжений  
для изолированных жил кабелей КСПВ 4 × 0,12 и КССПВ UTP 4 Cat. 5e**

ВИД ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ	ВЕЛИЧИНА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, КВ ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ			
	изолированная жила кабеля КСПВ 4 × 0,12 толщина изоляции 0,23 мм		изолированная жила кабеля КССПВ UTP 4 Cat. 5e толщина изоляции 0,2 мм	
	ГОСТ 23286-78	BS 5099:2004	ГОСТ 23286-78	BS 5099:2004
Переменное напряжение 3 кГц	3,54 (5 ампл.)	4	2,83 (4 ампл.)	4
Переменное напряжение 50 Гц	—	3	—	3
Постоянное напряжение	—	5	—	5

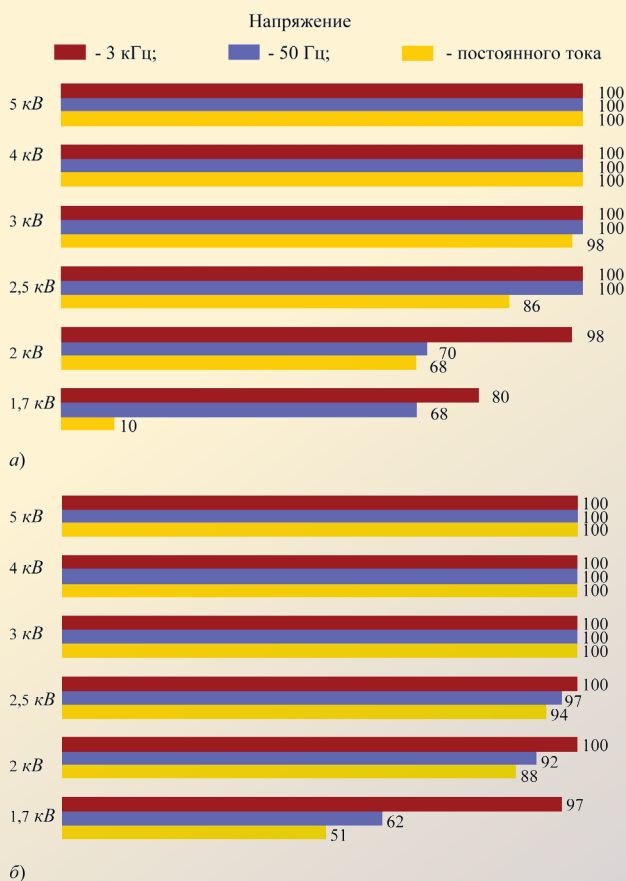
В таблице приводятся значения испытательных напряжений в соответствии со стандартами ГОСТ 23286–78 и BS 5099:2004. Отличия требований стандартов заключается не только в величинах испытательных напряжений, но и в их зависимости от формы и частоты напряжений и типа изоляции. В стандарте ГОСТ 23286–78 нет зависимости величины испытательного напряжения от его формы и частоты, но есть разделение на резиновую и пластмассовую изоляцию. В ГОСТ 23286–78 указываются амплитудные значения испытательных напряжений. В стандарте BS 5099:2004 нет разделения по типам изоляции, но присутствует разделение по форме и частоте испытательного напряжения. В стандарте BS 5099:2004 указываются действующие значения испытательных напряжений.

Из приведенных на рис. 1 диаграмм видно, что при величинах напряжений, указанных в BS 5099:2004 и даже несколько ниже, испытания постоянным напряжением не

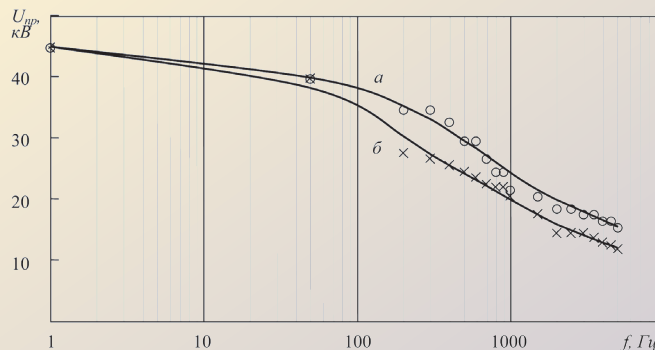
уступают по достоверности испытаниям переменным напряжением частотой 50 и 3000 Гц. Однако при снижении испытательного напряжения достоверность испытаний постоянным напряжением уменьшается раньше. Для обеспечения надежного контроля величина постоянного испытательного напряжения должна быть выше величины переменного напряжения на 30–50 %. Из экспериментальных зависимостей пробивных напряжений от частоты для изолированных жил кабеля КСПВ 4 × 0,12 и кабеля КССПВ UTP 4, приведенных на рис. 2, видно, что это можно делать без опасения произвести пробой «здоровой» изоляции.

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



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



**Рис. 2. Экспериментальные зависимости пробивных напряжений от частоты для «здоровой» изоляции изолированных жил кабелей:** а) КСПВ 4 × 0,12; б) КССПВ UTP 4 Cat. 5e

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением.
- ГОСТ 23286-78. Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением.
- British standard BS 5099:2004. Electric cables – Voltage levels for spark testing.
- British standard BS EN 50356:2002. Method for spark testing of cables.
- CEI/IEC 62230:2006. Electric cables – Spark-test method.
- NEMA Standards Publication WC 56-1986 (R2005). 3.0 kHz Insulation Continuity Proof Testing of Wire and Cable.