

УДК 621.315

Э. Д. ШУМИЛОВА, Ю.Н. ШУМИЛОВ

**К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ  
В СЕТЯХ 6-10 КВ**

Статья посвящена поиску путей повышения надёжной работы опорно-стержневых изоляторов 6-10 кВ, являющихся одним из элементов массового применения в сетях 6-10 кВ, безотказная работа которых позволит уменьшить потери электроэнергии от перерывов электроснабжения и уменьшит травматизм персонала электрических сетей.

**Ключевые слова:** энергосбережение, электробезопасность, полимерные опорно-стержневые изоляторы, стеклопластиковый стержень, электрическое поле, снижение напряжённости электрического поля.

Стаття присвячена пошуку шляхів підвищення надійної роботи опорно-стержневих ізоляторів 6-10 кВ, що є одним з елементів масового застосування в мережах 6-10 кВ, безвідмовна робота яких дозволить зменшити втрати електроенергії від перерв електропостачання та зменшити травматизм персоналу електричних мереж.

**Ключові слова:** енергозбереження, електробезпека, полімерні опорно-стрижневі ізолятори, склопластиковий стрижень, електричне поле, зниження напруженості електричного поля.

The article is devoted to finding ways to increase the reliable operation of the rod insulators 6-10 kV, which is one of the elements of mass application in networks of 6-10 kV, trouble-free operation that will reduce electricity losses from the interruption of power supply and reduce the injuries of electric networks of staff.

**Keywords:** energy efficiency, electrical safety, polymeric supporting-rod insulators, fiberglass rod, the electric field, the reduction of the electric field.

**Введение.** В электрических сетях среднего напряжения широкое распространение получили опорно-стержневые изоляторы на напряжение 6-10 кВ. К ним можно отнести фарфоровые изоляторы С4-80-III УХЛ1, ИОС 10-500 УХЛ1,Т и др., а также полимерные изоляторы СК-12,5-3,3-80-III, СК-12,5-3,3-80-IV УХЛ1, ОСК-12,5-10/80-2. Данные изоляторы применяются для изоляции и крепления токоведущих частей различного электрооборудования, например, в сборных шинах, токопроводах, разъединителях, электрических аппаратах. Повышение надёжной работы опорно-стержневых изоляторов 6-10 кВ, являющихся одним из элементов массового применения в сетях 6-10 кВ, позволит уменьшить потери электроэнергии от перерывов электроснабжения и уменьшит травматизм персонала электрических сетей.

Опорно-стержневые изоляторы работают в условиях комплексного воздействия эксплуатационных факторов. На них воздействует сильное электрическое поле, кроме этого они в эксплуатации подвергаются тепловым механическим и климатическим воздействиям.

К механическим воздействиям относятся растягивающие, сжимающие, изгибающие и крутящие нагрузки. Например, в нормальном режиме работы разъединителя изоляторы изгибаются под действием динамических сил от тяжения проводов (шин). В режиме короткого замыкания силы электродинамического воздействия резко возрастают и изгибающие моменты увеличиваются. При включении и отключении ножей рубящего типа изоляторы дополнительно подвергаются действию ударных нагрузок. К электрическим воздействиям относится длительное воздействие рабочего напряжения, грозовых и коммутационных перенапряжений. При часто возникающих в сетях 6-10 кВ однофазных

коротких замыканий возможно появление дуговых перенапряжений. Они могут достигать четырёх - пятикратных величин. При неудачно сконструированном полимерном изоляторе может произойти пробой стеклопластикового стержня или границы раздела «стержень – ребро». Пробитый изолятор не всегда можно быстро отыскать для замены.

**Целью настоящей работы** явилось исследование электрического поля в типовых конструкциях опорно-стержневых полимерных изоляторов К-12,5-3,3-80-III, СК-12,5-3,3-80-IV УХЛ1, определение максимальных напряжённостей электрического поля внутри этих изоляторов и корректировка размеров по характеристикам электрического поля с целью повышения надёжности их работы.

**Основной материал исследований.** Ранее в электрических сетях 6-10 кВ традиционно применялись фарфоровые изоляторы типа С4-80-III УХЛ1, ИОС 10-500 УХЛ Т, С 10-80-1 УХЛ Т, С 8-80-1 УХЛ,Т и др.

Однако, в последнее время на подстанциях и в аппаратах отмечается востребованность полимерных опорно-стержневых изоляторов СК-12,5-3,3-80-III, СК-12,5-3,3-80-IV УХЛ1, ОСК 12,5-10/80-2 и др. по причине их большей стойкости к ударным воздействиям при токах короткого замыкания, поломкам при неправильной работе аппаратов, в частности разъединителей, также при актах вандализма; дополнительно полимерные изоляторы обладают по сравнению с фарфоровыми более высокими разрядными характеристиками при работе в районах с повышенным загрязнением атмосферы. Вид полимерного изолятора приведён на рис.1. Он состоит из стеклопластикового стержня, на который нанесена литьём силиконовая ребристая оболочка и механическим радиальным обжатием закреплены металлические оконцеватели. Данные изоляторы могут

применяться как в сетях 3,3 постоянного тока, так и в сетях 6-10 кВ переменного тока.

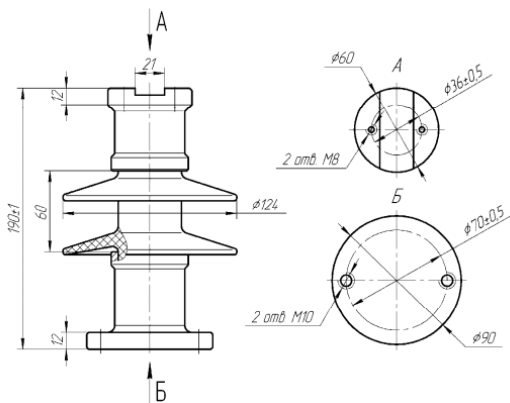


Рис.1. Изолятор СК-12,5-3,3-80-III

Применение силиконовой резины в этих изоляторах позволяет отливать тонкие ребра большого диаметра и, как следствие, получать требуемую длину пути тока утечки при малой изоляционной высоте (кратчайшее расстояние между металлическими оконцевателями). В данном изоляторе изоляционная высота составляет 60 мм. При этом формально все требования к конструкции выполняются и приёмно-сдаточные испытания согласно ТУ на эти изоляторы выдерживают. Однако в эксплуатации при номинальном напряжении 10 кВ имели место отдельные случаи внутреннего пробоя этих изоляторов по границе раздела между стеклопластиковым стержнем и силиконовой оболочкой, что приводило к задержке энергоснабжения потребителя на период поиска пробитого изолятора и его замены.

Для поиска причин внутреннего пробоя изоляторов были выполнены расчёты напряжённости электрического поля внутренней части изолятора СК-12,5-3,3-80-III. Расчёты выполнялись с помощью известной программы Femlab 2.3. [1] при наибольшем рабочем напряжении в сети равном 12 кВ. Высокое напряжение подавали на верхний оконцеватель (фланец), нижний был заземлён. Расчётная модель изолятора приведена на рис.2.(а). Главное внимание при расчётах уделяли наиболее опасным точкам (т.1и т.4), где имели место острые углы оконцевателя, прилегающие к поверхности стеклопластикового стержня; в области этих точек формировалась значительная концентрация электрического поля. При опрессовке оконцевателей наиболее прочное соединение стеклопластикового стержня с оконцевателем получается при достижении радиальной деформации стеклопластикового стержня на величину  $\Delta r$  равной 0,35 мм. [2]. При этом поперечные силы обжатия в зоне острых углов

могут нарушить целостность стекловолокон (их диаметр составляет 5-15 мкм) с образованием разрывов между торцами стекловолокон, в которых при приложении напряжения могут возникнуть частичные электрические разряды. Напряжённость возникновения частичных разрядов в стеклопластиковых стержнях с учётом смятия стеклопластика и разрывов стекловолокон, также при наличии на стенках капилляров в стеклопластике адсорбированных водяных паров может быть ниже 2 кВ/см. [2]. Данное значение напряжённости электрического поля необходимо принять в качестве допустимой величины при конструировании изолятора.

Как следует из график Рис.2 (б) в точках т.1 и т.2 напряжённость электрического поля  $E_{\max}$  больше принятого допустимого уровня возникновения внутренних частичных разрядов. В случае возникновения грозовых, коммутационных или резонансных перенапряжений в сети частичные разряды могут служить инициатором внутреннего электрического пробоя по границе раздела стеклопластика с защитной оболочкой.

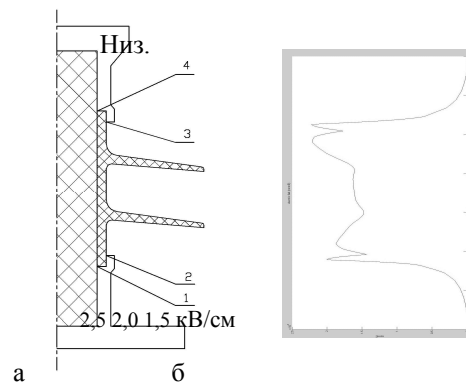


Рис.2. Расчётная модель изолятора СК-12,5-3,3-80-III (а) и график распределения напряжённости электрического поля вдоль конструкции между точками 1 и 2 (б).

Снижение напряжённости электрического поля  $E_{\max}$  можно получить двумя путями: скруглением острых углов в точках 1и 2, а также увеличением изоляционной длины конструкции (расстояние между точками 1и 2). В таблице 1. приведены результаты расчётов  $E_{\max}$  в точках 1и 2 существующего изолятора СК-12,5-3,3-80-III и изолятора со скруглениями в точках 1и 2, а также дополнительно изолятора СК-12,5-3,3-80-IV УХЛ1 с увеличенным изоляционным расстоянием до 104 мм и одним дополнительным ребром. Радиус скругления составлял 3 мм. Нужно отметить, что оба изолятора рекомендованы для применения как на постоянном напряжении 3,3 кВ, так и на переменном номинальном напряжении 6-10 кВ.

Таблица 1

Низ. мм	Расчетные значения $E_{\max}$ в точках 1 и 2, кВ/см			
	3,3 кВ постоянного тока		12 кВ переменного тока	
	Острый угол	Скругление	Острый угол	Скругление
60	0,61*	0,44(38%)	2,20	1,63(35%)
	0,55	0,38(45%)	2,03	1,37(48%)
104	-	-	1,56	1,17(33%)
	-	-	1,40	0,93(50%)

\* В числителе приведены значения для верхнего оконцевателя, в знаменателе - для нижнего оконцевателя

Из таблицы 1 следует, что скругление острых углов в изоляторе, имеющем изоляционную высоту 60 мм, снижает  $E_{\max}$  не менее чем на 33%. а увеличение изоляционной высоты изолятора до 104 мм дополнительно снижает  $E_{\max}$  до 1,17 - 0,93 кВ/см. Оба эти фактора снижают максимальную напряжённость значительно ниже уровня возникновения частичных разрядов, являющихся в дальнейшем инициатором образования на поверхности стеклопластика дефектов типа трековых дорожек - предвестника внутреннего пробоя при ОЗЗ, коммутационных и грозовых перенапряжениях.

#### Выводы:

1. Максимальная напряжённость электрического поля в полимерных опорно-стержневых изоляторах 6-10 кВ с внутренним стеклопластиковым стержнем должна быть менее 2 кВ/см.
2. Снижение максимальной напряжённости в изоляторах с малой изоляционной высотой достигается скруглением острых узлов внутренней части оконцевателей (фланцев) радиусом не менее 3 мм и увеличением изоляционной высоты до 100-105 мм.

3. Опорно-стержневые изоляторы СК-12,5-3,3-80-III не рекомендуется использовать в сетях с напряжением 10 кВ и выше. Вместо них необходимо ставить изоляторы 12,5-3,3-80-IV УХЛ1, имеющих изоляционную высоту 104 мм.

4. Опорно-стержневые изоляторы СК-12,5-3,3-80-III допускается использовать в контактной сети и электрических аппаратах железных дорог при напряжении 3,3 кВ постоянного тока.

#### Список литературы

1. "Femlab 2.3. Руководство пользователя" (перевод с английского с редакторской правкой В.Е.Шмелева). 2. А.К.Шидловский, Ю.Н.Шумилов, А.А.Щерба, В.М.Золотарёв. Высоковольтные полимерные изоляторы. Киев, Издательская группа «Сучасність», 2008, 252с.

#### References (transliterated):

1. "Femlab 2.3. Rukovodstvo pol'zovatelja" (perevod s anglijskogo s redaktorskoj pravkoj V.E.Shmeleva). 2. A.K.Shidlovskij, Ju.N.Shumilov, A.A.Sherba, V.M.Zolotarjov. Vysokovol'tnye polimerory. Kiev, Izdatel'skaja gruppya «Suchasnist'», 2008, 252s.

Надійшла (received) 18.04.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**До питання енергозбереження та підвищення електробезпеки в мережах 6-10 кВ/ Е. Д. Шумілова, Ю. М. Шумілов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – No 31 (1253). – С. 93 – 95. Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2224-0349.

**К вопросу энергосбережения и повышения электробезопасности в сетях 6-10 кВ/ Э. Д. Шумілова, Ю. М. Шумілов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – No 31 (1253). – С. 93 – 95. Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2224-0349.

**To the question of energy saving and increase electrical safety in network 6-10 kV / E. D. Shumilova, Y. N. Shumilov** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Energetics: reliability and energy efficiency. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No 31 (1253). – P. 93 – 95. Bibliogr.: 5. – ISSN 2224-0349.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Шумілова Емілія Дмитрієвна** – кандидат технічних наук, доцент, Донбаський державний педагогічний університет, м.Слов'янськ; тел. : 0958874036

**Шумілова Эмилия Дмитриевна** – кандидат технических наук, доцент, Донбасский государственный педагогический университет, г.Славянск; тел.: 0958874036.

**Shumilova Emilia Dmitrievna** - Ph.D., Associate Professor, Donbassky State Pedagogical University, Slavyansk; tel. : 0958874036.

**Шумілов Юрій Миколайович** – доктор технічних наук, професор, заст. директора ПАТ «Слов'янський завод високовольтних ізоляторів», м.Слов'янськ; тел.: 0951813515; e-mail «shumilov3@yandex.ru».

**Шумілов Юрий Николаевич** – доктор технических наук, профессор, зам. директора ПАО «Славянский завод высоковольтных изоляторов», г.Славянск; тел.: 0951813515; e-mail «shumilov3@yandex.ru».

**Shumilov Yuri Nikolayevich** - doctor of technical sciences, professor, deputy. Director- «Slavyansk factory of high-voltage insulators", Slavyansk; Tel. : 0951813515; e-mail «shumilov3@yandex.ru».