



ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛИННОСТЕРЖНЕВЫХ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Л.Л. Владимирский, Е.Н. Орлова, Д.
С. Печалин, Т.В. Яковлева

ОАО «НИИПТ»

Длинностержневые фарфоровые изоляторы

Надежность работы внешней изоляции электроустановок обеспечивается за счет

использования современных нормативно-технических документов

применения современных эффективных изоляторов с высокими технико-экономическими параметрами

применения надежных и экономически эффективных методов защиты от загрязнений

Длинностержневые фарфоровые изоляторы

Эксплуатационные характеристики изоляторов (количество отказов в год)

*Подвесные
тарельчатые
(фарфор,
стекло)*

фарфор – 10^{-2}
стекло – 10^{-4}
(Россия)

*Подвесные
стержневые
(полимерные)*

ЛК – 10^{-4} (Россия)
Международный
опыт – $0,5 \cdot 10^{-4}$
(«Electra», № 191,
2000)

*Подвесные
длинностержневые
(фарфоровые)*

фарфор – 10^{-7}
(Германия)

Длинностержневые фарфоровые изоляторы

Рекомендуемые области применения подвесных изоляторов различной конфигурации по главе 1.9 ПУЭ 7-го издания

Конфигурация изолятора	Характеристика районов загрязнения
Тарельчатый с ребристой нижней поверхностью ($L_{\text{н}}/D \leq 1,4$)	Районы с 1-й и 2-й СЗ при любых видах загрязнения
Тарельчатый гладкий полусферический, тарельчатый гладкий конусный	Районы с 1-й и 2-й СЗ при любых видах загрязнения, районы с засоленными почвами и с промышленными загрязнениями не выше 3-й СЗ
Тарельчатый фарфоровый	Районы с 4-й СЗ вблизи цементных и сланцеперерабатывающих предприятий, предприятий черной металлургии, предприятий по производству калийных удобрений, химических производств, выпускающих фосфаты, алюминиевых заводов при наличии цехов производства электродов (цехов анодной массы)
Стержневой фарфоровый нормального исполнения ($L_{\text{н}}/h \leq 2,5$)	Районы с 1-й СЗ, в том числе с труднодоступными трассами ВЛ
Тарельчатый двукрылый	Районы с засоленными почвами и с промышленными загрязнениями (2-я, 3-я и 4-я СЗ)
Тарельчатый с сильно выступающим ребром на нижней поверхности ($L_{\text{н}}/D > 1,4$)	Побережья морей и соленых озер (2-я, 3-я и 4-я СЗ)
Стержневой фарфоровый специального исполнения ($L_{\text{н}}/h > 2,5$)	Районы со 2-й, 3-й и 4-й СЗ при любых видах загрязнения; районы с труднодоступными трассами ВЛ (2-я и 3-я СЗ)
Стержневой полимерный нормального исполнения	Районы с 1-й и 2-й СЗ при любых видах загрязнения, в том числе районы с труднодоступными трассами ВЛ
Стержневой полимерный специального исполнения	Районы со 2-й и 3-й СЗ при любых видах загрязнения, в том числе районы с труднодоступными трассами ВЛ

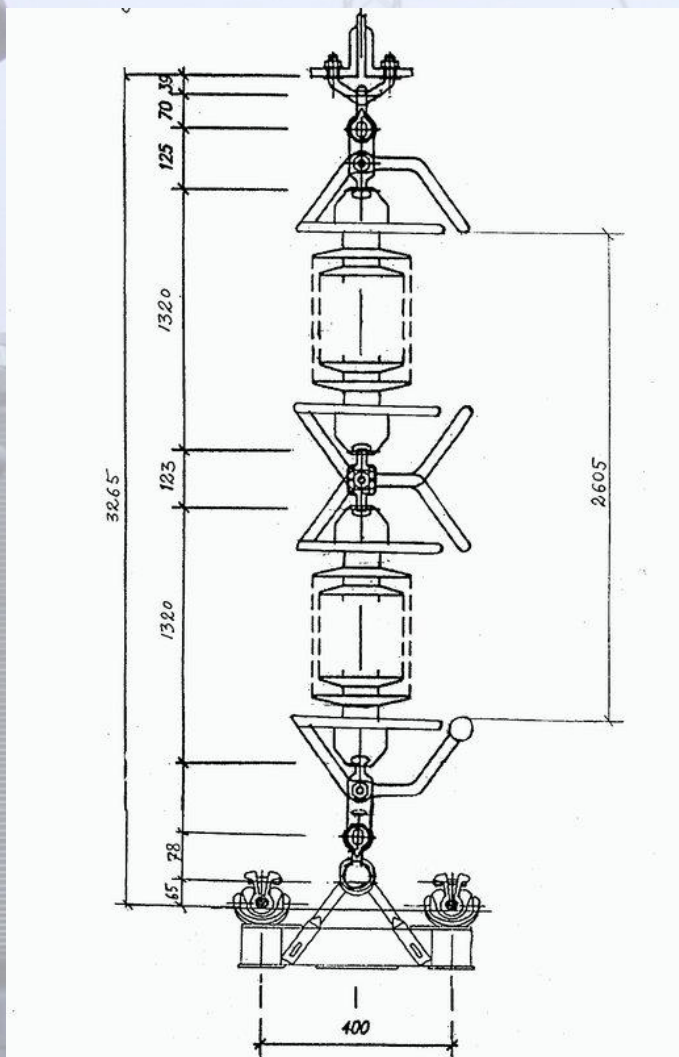
Примечание: D – диаметр тарельчатого изолятора, h – высота изоляционной части стержневого изолятора

Длинностержневые фарфоровые изоляторы

Особенности длинностержневых фарфоровых изоляторов:

- не подвержены электрическому пробое;
- в отличие от гирлянд тарельчатых изоляторов не нуждаются в замене в процессе эксплуатации, что исключает необходимость осмотров и ремонтных работ, в том числе под напряжением;
- ежегодная повреждаемость не превосходит 10^{-7} ;
- обладают высокой устойчивостью к вандализму (расстрелам);
- обладают высокой устойчивостью фарфоровой изоляционной детали к действию химически агрессивных выбросов промышленных предприятий;
- не подвержены электрокоррозии;
- могут надежно и эффективно эксплуатироваться в районах с любыми условиями загрязнения, что рекомендовано в главе 1.9 ПУЭ.

Пример внедрения на ВЛ изоляторов повышенной надежности



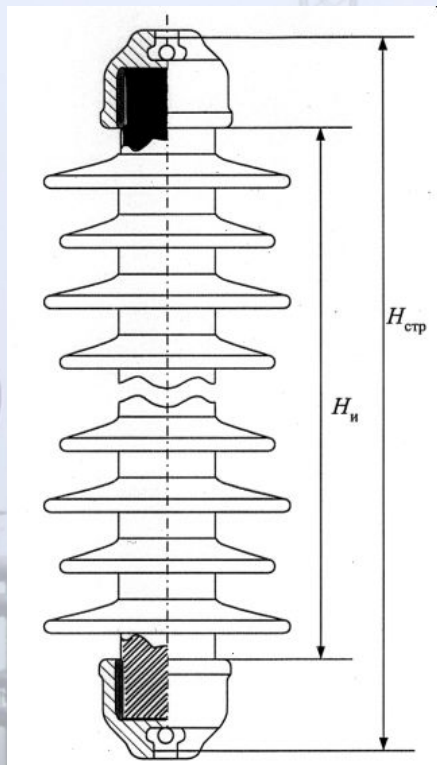
Поддерживающая гирлянда из длинностержневых фарфоровых изоляторов типа LP 60/17+16/1320 на ВЛ 330 кВ ПС Восточная – ПС Волхов – Северная (№16) МЭС Северо-Запада

Опыт внедрения на ВЛ изоляторов повышенной надежности

Условия эксплуатации длинностержневых фарфоровых изоляторов в России

Электроустановка	Район расположения	Характеристика условий загрязнения	СЗ (по ПУЭ-7)
ВЛ 110 и 220 кВ	Промышленная зона г. Череповца	Выбросы металлургических и химических производств. Воздействие высокой температуры (несколько раз в сутки) от излучения расплавленного шлака, а затем воздействие пара, возникающего при тушении шлака. В течение 6 месяцев происходит разрушение от 30 до 50 % стеклянных тарельчатых изолятора	более 4
ОРУ 330 кВ	Балтийская электростанция в Эстонии	Уносы сланцевой золы из дымовых труб БЭС, оседающей толстым слоем на поверхности изоляторов. Естественные осадки, обладающие повышенной электропроводностью. При неблагоприятных метеорологических ситуациях разрушается до 50-60% изоляторов в гирлянде.	3
ВЛ 330 кВ	Городская и пригородная зона г. Санкт-Петербурга	Умеренное загрязнение изоляции, характерное для крупных городов с развитой промышленностью и интенсивным движением транспорта	2

Опыт внедрения на ВЛ изоляторов повышенной надежности



Внедрение ДФИ:

- Балтийская электростанция (3-я СЗ) ОРУ 330 кВ – 10 лет;
- Череповецкий промышленный комплекс (4-я СЗ) ВЛ 110 и 220 кВ – 12 лет;
- г. Санкт-Петербург (2-я СЗ) ВЛ 330 кВ – 2 года.

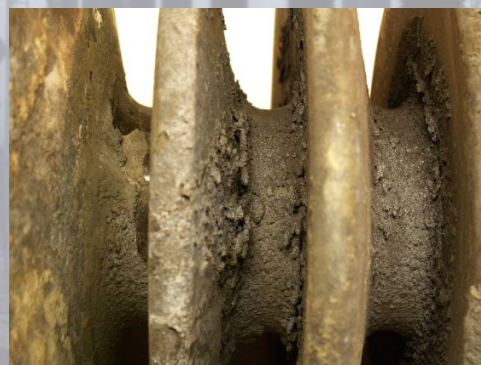
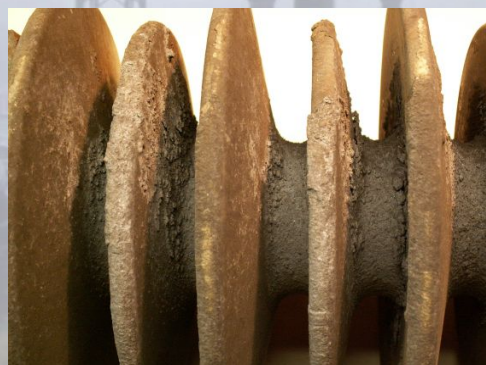
В указанных трех районах опыт эксплуатации ДФИ целиком положительный. За весь период эксплуатации на ВЛ 110, 220 и 330 кВ и на ОРУ 330 кВ перекрытий и разрушений изоляторов не наблюдалось.

Основные характеристики длинностержневых фарфоровых изоляторов

Место установки	Тип ДФИ	Механическая прочность на разрыв, кН	Строительная высота, $H_{стр}$, мм	Изоляционная высота, $H_{из}$, мм	Длина пути утечки L, мм	Диаметр тела, мм	Диаметр по ребрам D, мм (большие / малые)	Количество ребер (больших / малых)	Отношение $L/H_{из}$	Коэффициент формы
Балтийская электростанция в Эстонии	LP60/14+13/1140	120	1140	985	3913	60	200/170	14/13	3,97	12,0
Промышленная зона г. Череповца	LP65/13+12/1140	120	1140	990	3700	65	205/175	13/12	3,76	10,1
Городская и пригородная зона г. Санкт-Петербурга	LP60/17+16/1320	120	1320	1165	4720	60	205/175	17/16	4,05	11,9

Характер загрязнения ДФИ, эксплуатировавшихся на ВЛ 220 кВ ЧЭС

Слой загрязнения имеет плотность от 2 до 30 мг/см², местами наблюдается отслаивание загрязняющего вещества. Поверхностная плотность слоя загрязнения в пересчете на эквивалентное количество поваренной соли составило от 0,6 до 1 мг/см², что характеризуется как очень сильное загрязнение.



Испытания ДФИ после эксплуатации

Для демонтированных изоляторов с естественным слоем загрязнения определялось разрядное напряжение (U_p) и удельная поверхностная проводимость (α), а также поверхностная плотность слоя загрязнения. Методика испытания изоляторов соответствовала требованиям ГОСТ 10390. Для определения разрядного напряжения был выбран метод ЕЗ – загрязнение в естественных условиях. Каждый испытуемый объект (один ДФИ) увлажнялся в испытательной камере мелкокапельной влагой в виде тумана с измерением α . При испытании использовался метод приложения напряжения ПП – плавный подъем напряжения при увлажнении поверхности изолятора.



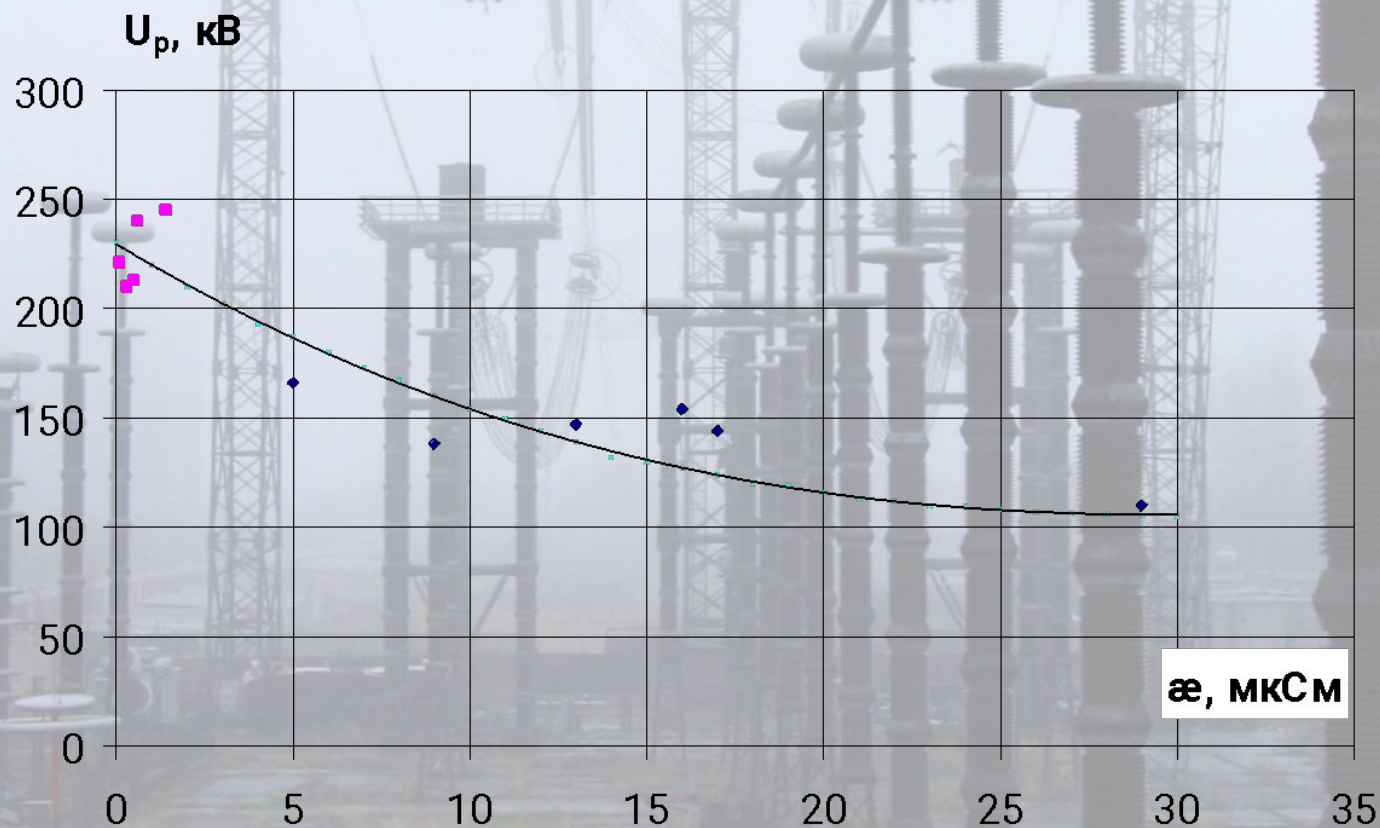
Результаты послеэксплуатационных испытаний ДФИ

Результаты определения U_p и α демонтированных ДФИ

Тип изолятора	LP60/14+13/1140 (ОРУ 330 кВ БЭС)					
Номер изолятора	1	2	3	4	5	
Разрядное значение U_p , кВ	245	240	213	221	210	
Удельная поверхностная проводимость α , мкСм	1,4	0,6	0,5	0,1	0,3	
Тип изолятора	LP65/13+12/1140 (ВЛ 220 кВ ЧЭС)					
Номер изолятора	1	2	3	4	5	6
Разрядное значение U , кВ	166	138	147	110	154	144
Удельная поверхностная проводимость α , мкСм	5	9	13	29	16	17

Зависимость разрядного напряжения U_p от удельной поверхностной проводимости α

Основные геометрические размеры (L , $H_{\text{стр}}$, $H_{\text{из}}$) у ДФИ, эксплуатировавшихся на БЭС и ЧЭС, практически не отличаются, и поэтому оказалось возможным построить обобщенную зависимость разрядного напряжения U_p от удельной поверхностной проводимости α , приведенную на рисунке:



• LP65/13+12/1140 ВЛ 220 кВ ЧЭС

■ LP60/14+13/1140 ОРУ 330 кВ БЭС

Зависимости удельного разрядного напряжения от поверхностной проводимости α

Используя обобщенную зависимость U_p от α из предыдущего рисунка можно построить зависимость удельного разрядного напряжения по длине пути утечки (E_L) от поверхностной проводимости α (рис.5) и по изоляционной высоте E_h от α (рис.6).

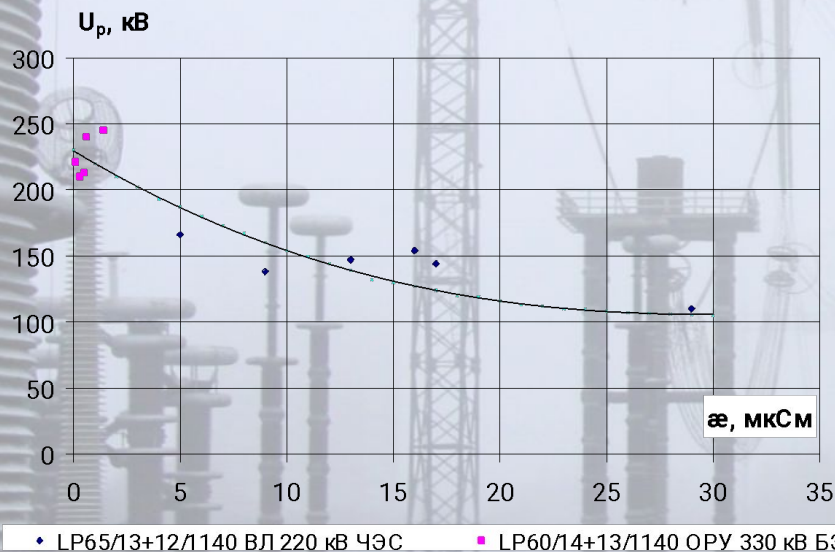


Рис. 5 Обобщенная зависимость E_L от α изолятора для ДФИ типа LP60/14+13/1140 и LP65/13+12/1140 с естественным загрязнением

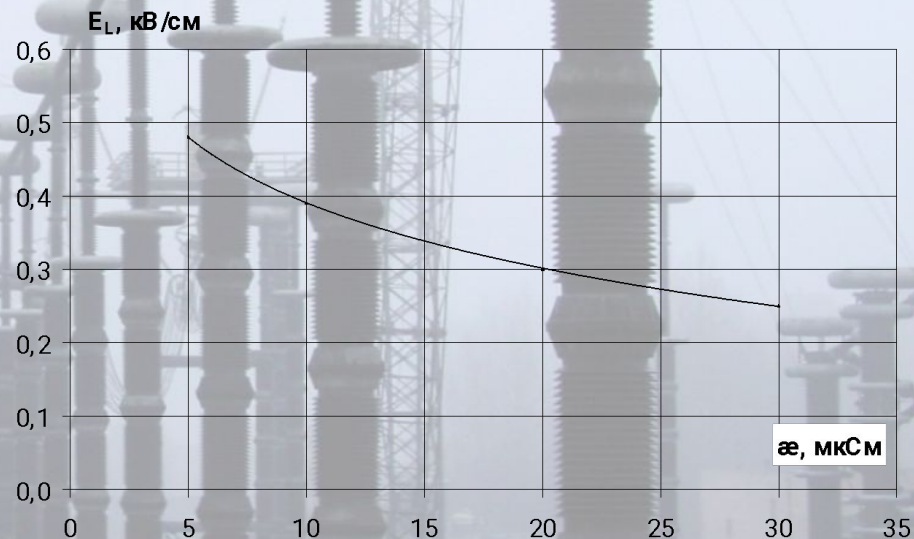


Рис. 6 Обобщенная зависимость E_h от α для ДФИ типа LP60/14+13/1140 и LP65/13+12/1140 с естественным загрязнением

Выбор оптимальных размеров гирлянд из ДФИ

Полученные экспериментальные зависимости можно использовать для выбора оптимальных размеров гирлянд из ДФИ.

По результатам испытаний ДФИ можно определить удельную эффективную длину пути утечки ($\lambda_{\text{э}}$), характеризующую требуемый уровень изоляции для района эксплуатации изоляторов:

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{K_3}{\sqrt{3} \cdot E_L \cdot K}$$

где $\lambda_{\text{э}}$ – требуемое значение удельной длины пути утечки, см/кВ, $K_3 = U_p / U_{\text{фн}}$ – коэффициент запаса, характеризующий средний уровень изоляции (отношение среднего разрядного напряжения U_p одной гирлянды с естественным слоем загрязнения, обеспечивающей надежную работу совокупности гирлянд ВЛ при ее увлажнении, к наибольшему значению рабочего напряжения $U_{\text{фн}}$ этой ВЛ), $E_L = U_p / L$ – удельная разрядная длина пути утечки (кВ/см), L – длина пути утечки изолятора (гирлянды изоляторов); K – коэффициент эффективности использования длины пути утечки. Значение E_L можно определить по экспериментальной зависимости (рис.5).

При малом количестве объектов испытания, что характерно при проведении испытаний изоляции с естественным слоем загрязнения, коэффициент запаса определяют по минимальному разрядному напряжению, полученному по результатам испытаний всех изоляторов.

Коэффициент запаса для ДФИ, эксплуатирующихся на ВЛ 220 кВ (ЧЭС) составляет $K_3 = 3 \cdot 107 / 146 = 2,20$, где $U_{\text{разр}} = 107$ кВ при $\alpha = 29$ мкСм (наибольшее значение для исследуемого района).

Выбор оптимальных размеров гирлянд из ДФИ

Длина изоляционной части гирлянды изоляторов Низ определяется из выражения:

$$N_{из} = \frac{K_z \cdot U_{фн}}{E_h}$$

где $E_h = \frac{U}{h}$ — удельное разрядное напряжение по изоляционной высоте изоляторов в гирлянде для заданной СЗ.

Произведем выбор гирлянды изоляторов для эксплуатации в условиях загрязнения на ВЛ 220 кВ ЧЭС (т.е. больше 4-й СЗ) по двум критериям:

- по геометрическому параметру, т.е. по удельной эффективной длине пути утечки в соответствии с требованиями ПУЭ-7;
- по разрядному напряжению в соответствии с формулами 1 и 2 для расчетного значения $\alpha=29$ мкСм, $E_L=0,28$ кВ/см и $E_h=1,07$ кВ/см.

Выбор по геометрическому параметру производился по формулам (ПУЭ-7)

$L = \lambda_{\alpha} \cdot U_{нр} \cdot K$ и $m = \frac{L_{и}}{L}$, где $L_{и}$ — длина пути утечки одного изолятора.

Оценка размеров гирлянд из ДФИ для эксплуатации на ВЛ 220 кВ в зоне с сильными (больше 4-й СЗ) загрязнениями (ЧЭС)

Тип изолятора	Выбор по геометрическому параметру					Выбор по разрядному напряжению			
	$U_{нр},$ кВ	$U_{фн},$ кВ	Требуемое значение $\lambda_3,$ см/кВ	Коэффициент К по ПУЭ-7	Расчетное значение L, см	Расчетное количество изоляторов в гирлянде, шт.	Расчетное значение λ_3 (по формуле 1), см/кВ	Расчетная длина изоляционной части $N_{из}$ (по формуле 2), см	Расчетное количество изоляторов в гирлянде, шт.
LP 65/13+12/1140	252	146	3,7	1,3	1212	3,2	3,5	300	3

ВЫВОДЫ

1. Опыт эксплуатации длинностержневых фарфоровых изоляторов нового поколения на ВЛ 110, 220 и 330 кВ, расположенных в районах с различными условиями эксплуатации, в том числе, в течение 9 лет в районе с очень сильными загрязнениями (больше 4-й СЗ) целиком положительный.
2. На основе новых данных по загрязняемости современных типов длинностержневых фарфоровых изоляторов в районах с различными условиями эксплуатации получена зависимость разрядного напряжения от удельной поверхностной проводимости для этих изоляторов, позволяющая определять оптимальные размеры (длину) гирлянды в районах с различной степенью загрязнения.
3. Практическое использование длинностержневых фарфоровых изоляторов в электрических сетях ОАО «ФСК ЕЭС» может быть реализовано двумя путями: приобретением изоляторов у ведущих зарубежных фирм и сборкой изоляторов в России на базе закупаемых за рубежом изоляционных деталей. Недостатком первого пути является относительно высокая стоимость изоляторов, что сдерживает их более широкое применение в России. Для реализации второго пути требуется организация предприятия по изготовлению металлической арматуры и сборки (армирования) изоляционных деталей, поставляемых из-за рубежа. Такой путь несколько лет назад был реализован в Китае.



Спасибо за внимание

Vladimirsky@nipt.com