



# **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

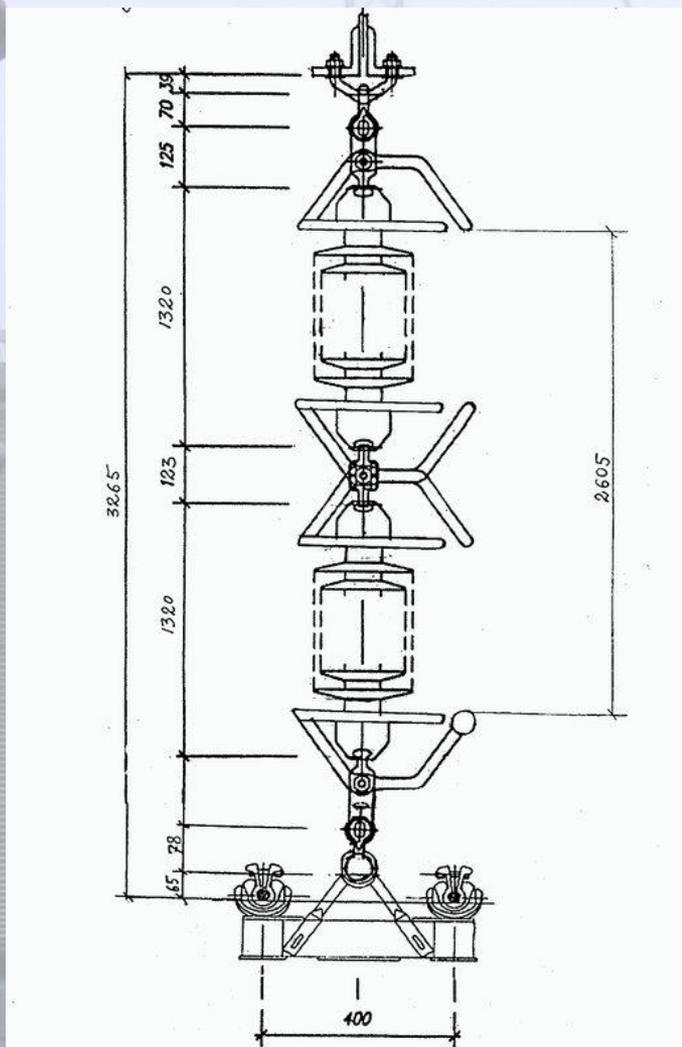
Примечание: D – диаметр тарельчатого изолятора, h – высота изоляционной части стержневого изолятора

# 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



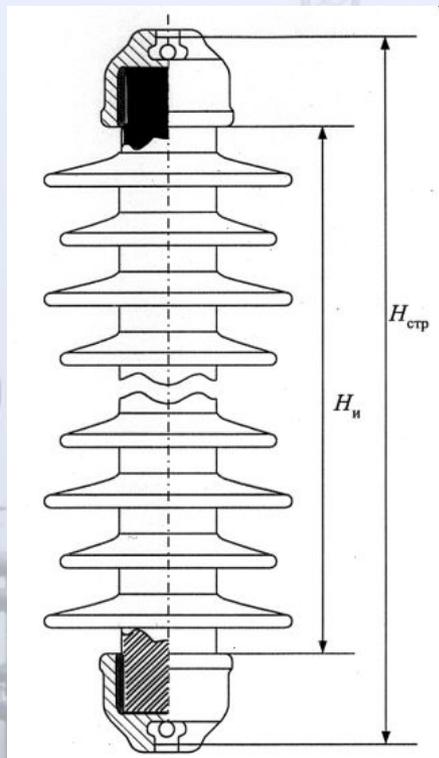
Поддерживающая гирлянда из длинностержневых фарфоровых изоляторов типа LP 60/17+16/1320 на ВЛ 330 кВ ПС Восточная – ПС Волхов – Северная (№16) МЭС Северо-Запада

# 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

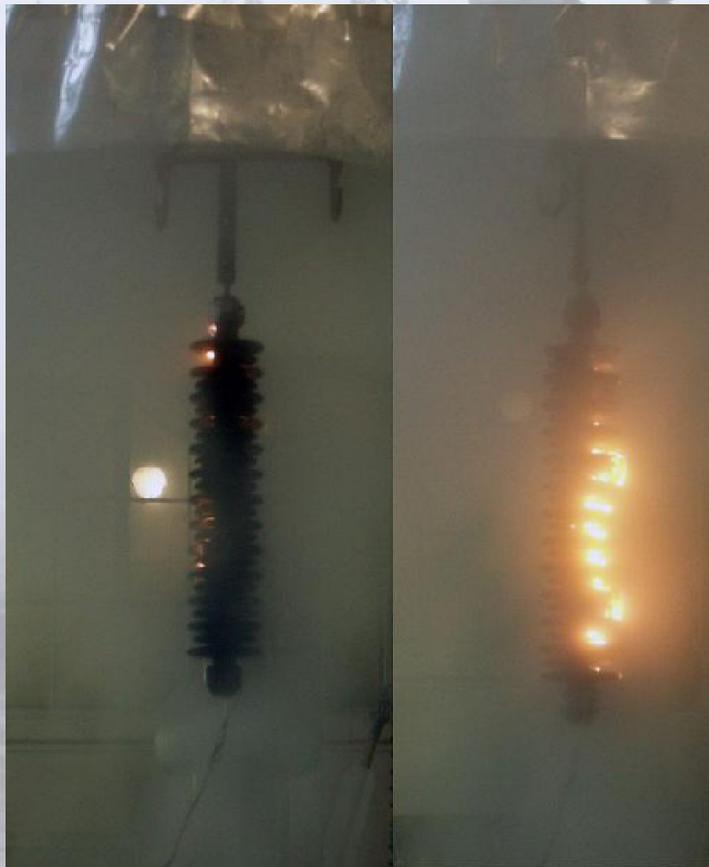
## Характер загрязнения ДФИ, эксплуатировавшихся на ВЛ 220 кВ ЧЭС

Слой загрязнения имеет плотность от 2 до 30 мг/см<sup>2</sup>, местами наблюдается отслаивание загрязняющего вещества. Поверхностная плотность слоя загрязнения в пересчете на эквивалентное количество поваренной соли составило от 0,6 до 1 мг/см<sup>2</sup>, 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 ( $\alpha$ ), 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  $\alpha$ . При испытании использовался метод приложения напряжения ПП – плавный подъем напряжения при увлажнении поверхности изолятора.



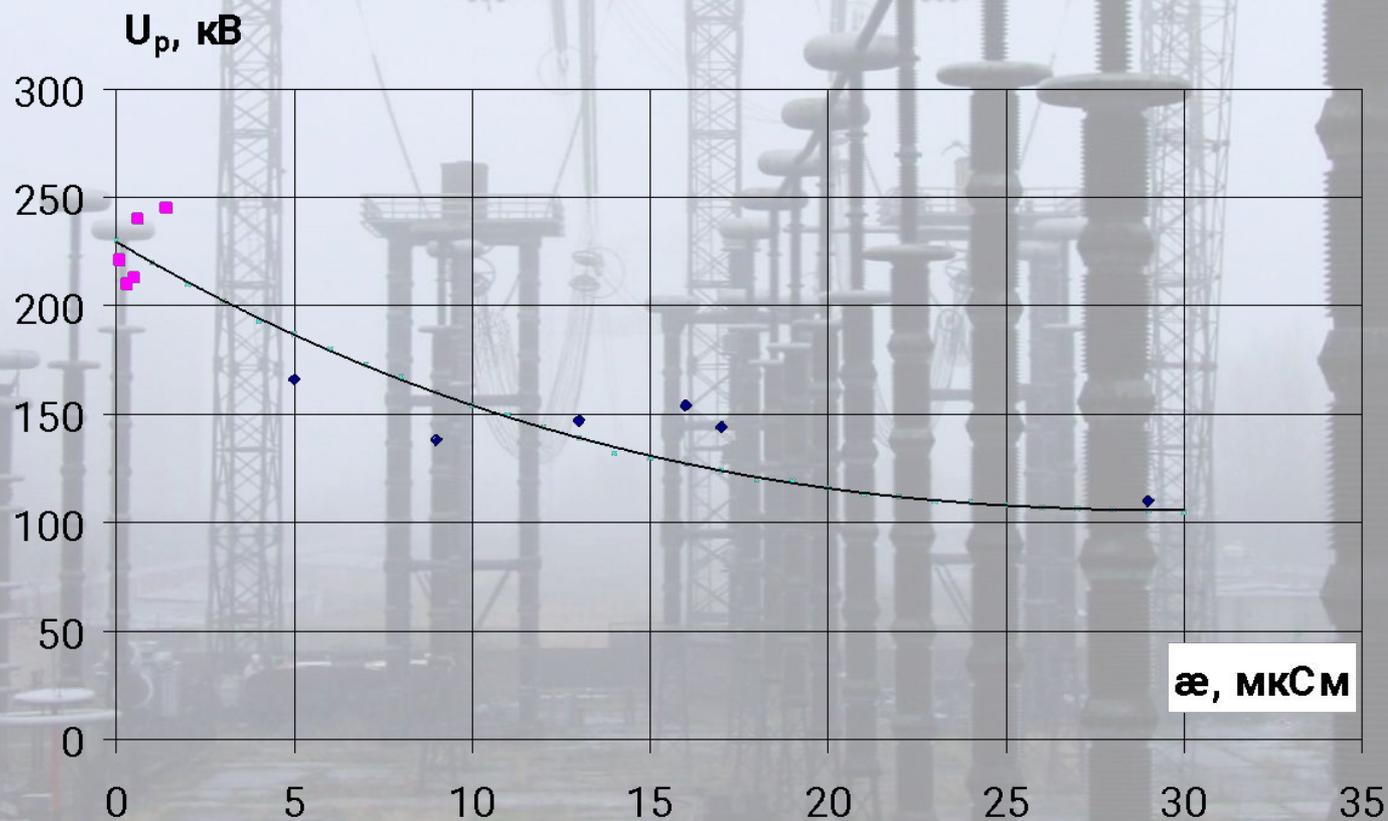
# Результаты послеэксплуатационных испытаний ДФИ

Результаты определения  $U_p$  и  $\alpha$  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 $\alpha$ , 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 $\alpha$ , мкСм	5	9	13	29	16	17

# Зависимость разрядного напряжения $U_p$ от удельной поверхностной проводимости $\alpha$

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  $\alpha$ , 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 $\alpha$

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

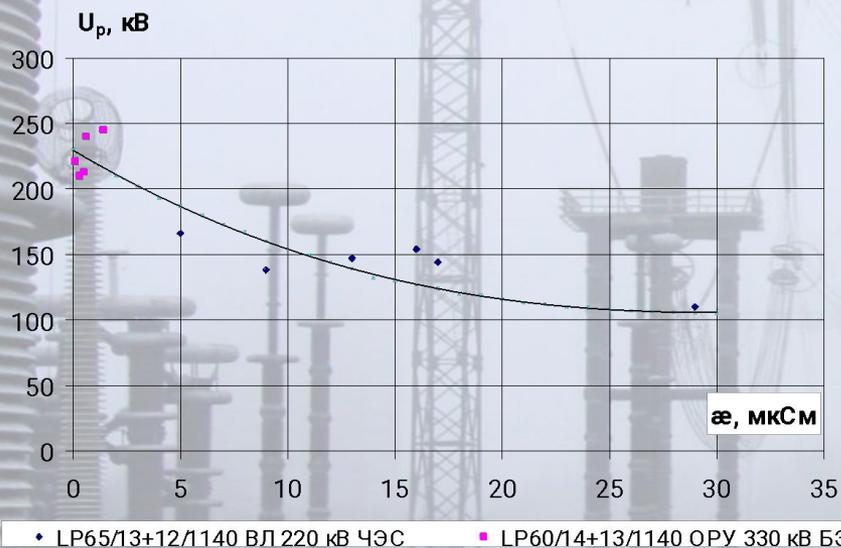


Рис. 5 Обобщенная зависимость  $E_L$  от  $\alpha$  изолятора для ДФИ типа LP60/14+13/1140 и LP65/13+12/1140 с естественным загрязнением

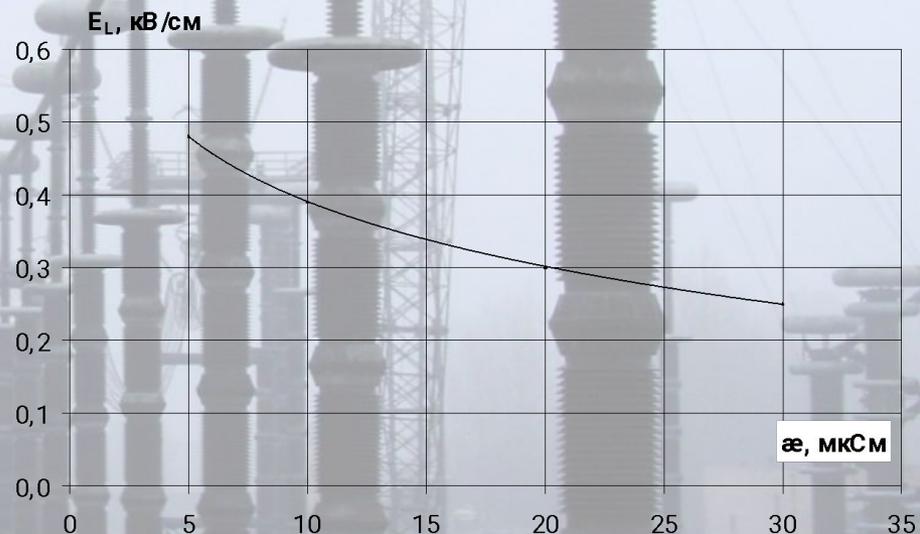


Рис. 6 Обобщенная зависимость  $E_h$  от  $\alpha$  для ДФИ типа LP60/14+13/1140 и LP65/13+12/1140 с естественным загрязнением

# 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 $\lambda_3$ (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](mailto:Vladimirsky@nipt.com)