

## ПРИМЕНЕНИЕ ОПН ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Казакова С.А.,

научный руководитель, д-р. техн. наук, профессор Овсянников А.Г.

*Новосибирский государственный технический университет*

Основными элементами связи при объединении энергосистем являются воздушные линии электропередачи (ВЛ) классов напряжения  $220 \div 1150$  кВ. Возросшие требования к надежности межсистемных ВЛ и экономические потери при их плановых и случайных отключениях диктуют необходимость проведения работ по обслуживанию и ремонту ВЛ без отключений. Производство ремонтных работ под напряжением (ПРН) практикуется уже в течение десятков лет, в том числе в России. Работы проводятся по схеме «человек – изоляция – земля». Первой операцией в технологическом цикле является доставка электромонтера к проводу. Центральной проблемой при ПРН была и остается проблема обеспечения безопасности персонала [1,2]. Основной сложностью является обеспечение необходимого изоляционного расстояния между ремонтником и заземленными частями опоры, чтобы исключить перекрытия воздушных промежутков не только при рабочем напряжении, но и при случайно возникающих коммутационных перенапряжениях.

Наибольшую озабоченность вызывают работы на ВЛ, на которых из-за конструкции опор невозможно обеспечить требуемые изоляционные расстояния.

Примером могут служить несколько типов промежуточных опор ВЛ 220 кВ, эскизы которых приведены на рис. 1.

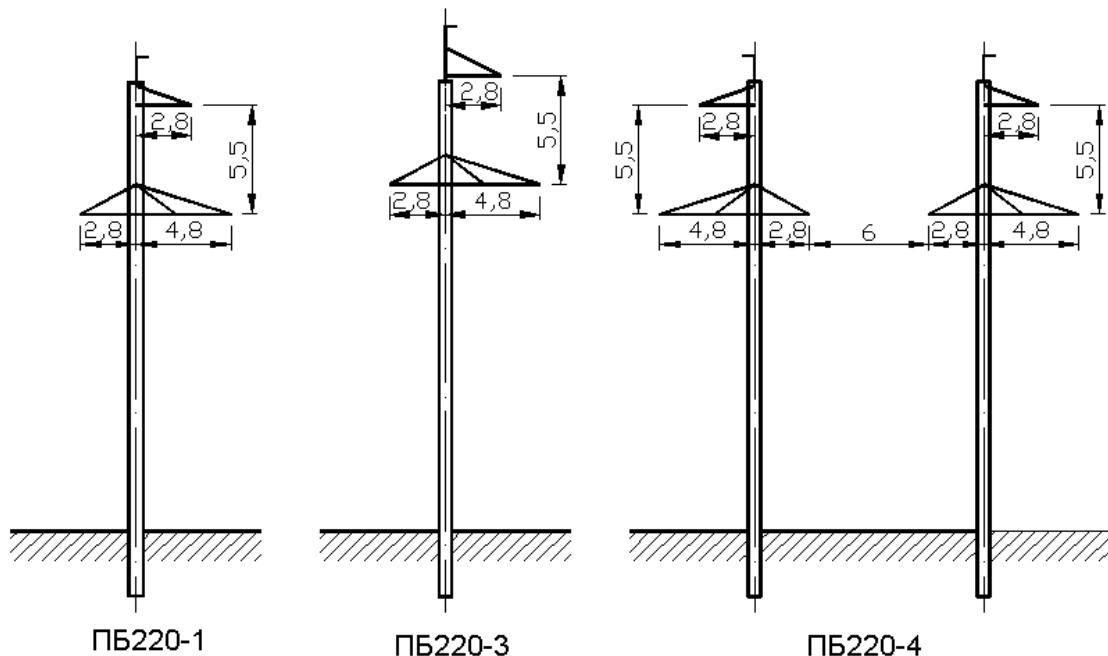


Рисунок 1 – Эскизы «проблемных» опор 220 кВ

На этих опорах расстояние между верхней и нижней траверсами составляет 5,5 метров. Учитывая длину гирлянды изоляторов, равную 2,4 м [3], и рост человека (1,8

м), получаем расстояние между головой человека, работающего на нижней траверсе, и верхней фазой 1,3 м, что не удовлетворяет требованиям электробезопасности [1]

На ВЛ 500 кВ «проблемными» являются, например, промежуточные железобетонные опоры с ветровыми связями между стойками (рис. 2).

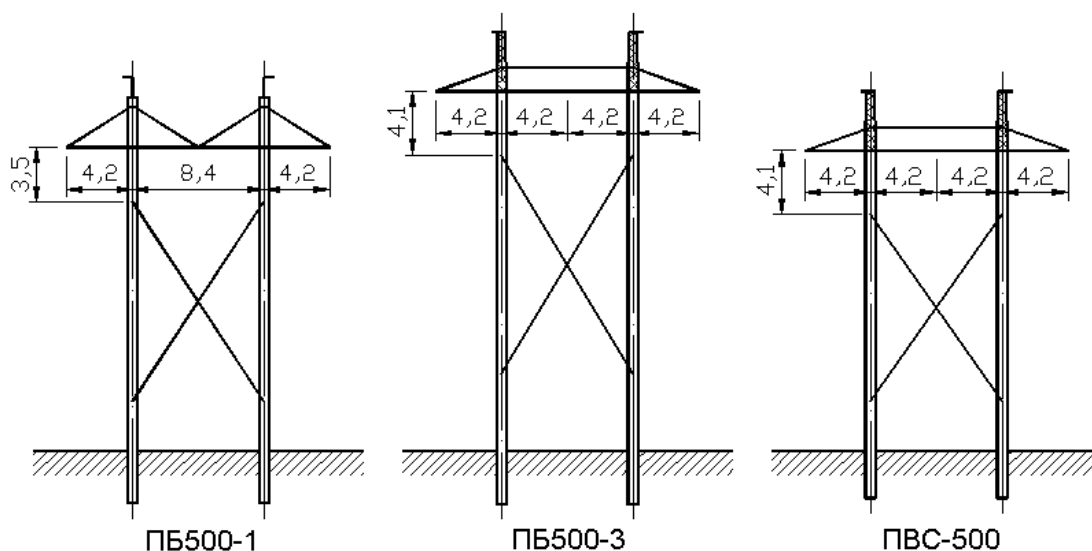


Рисунок 2 – Эскизы «проблемных опор» 500 кВ

Длина гирлянды изоляторов равна 4,5 м [2]. Если зона ПРН располагается в плоскости опоры, то расстояние между ремонтником, находящимся на средней фазе, и ветровыми связями опор, оказывается недостаточным для проведения работ. Именно по этой причине нижние концы ветровых связей на время ПРН освобождают и связи вытягивают вдоль стоек опоры.

За рубежом также имеются линии, на опорах которых соблюдение изоляционных промежутков при ПРН невозможно. Таковыми, например, являются ВЛ компактного исполнения в Швеции (400 кВ) и в Китае (500 кВ).

Возникает вопрос, как производить ремонтные работы на ВЛ на «проблемных» опорах не подвергая опасности жизнь электромонтёров?

В этих случаях предлагается использовать специально разработанные для ПРН ограничители перенапряжений: ОПН-ПРН. Такая попытка впервые в мире предпринимается в ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС». Для ее реализации были сформулированы основные технические требования к специальным ОПН-ПРН, приведенные в таблице 1 для изготовления по ним опытных образцов в ОАО «Феникс-88» (г. Новосибирск).

Изначально отличия ОПН-ПРН от стационарных подстанционных и линейных ОПН понимались в следующем.

- ОПН-ПРН должен срабатывать при коммутационных перенапряжениях.
- ОПН-ПРН работает в облегченных условиях: короткое время включения под напряжение, нормальные метеорологические условия, повышенные напряжения промышленной частоты отсутствуют
- Конструкция ЛР должна быть по возможности легкой и удобной для монтажа на ремонтируемой фазе ВЛ.

Таблица 1 – Основные технические требования к ограничителям перенапряжений типа ОПН-ПРН классов напряжения 220 и 500 кВ

Параметр	Тип ОПН		
	ОПН-ПРН-220/150-10/650(II)	ОПН-ПРН-500/375-10/650(II)	
<i>Требования к основным параметрам элементов ограничителя</i>			
Номинальное напряжение, кВ, действ.	150	375	
Классификационное напряжение, кВ <sub>эфф</sub>	142	355	
Остающееся на ОПН напряжение, кВ при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой	250 А	252	630
	500 А	260	650
	1000 А	268	670
	20000 А	388	970
Амплитуда выдерживаемого не менее 18 раз импульса пропускной способности, А	650		
Энергия одиночного импульса пропускной способности, не менее, кДж	360	900	
Масса, кг, не более	35	75	
<i>Требования к искровому промежутку</i>			
Среднее разрядное напряжение промышленной частоты в сухом состоянии, кВ <sub>эфф</sub> , не менее	191	396	
Пятидесятипроцентное разрядное напряжение коммутационного импульса положительной полярности, кВ, не более	435	870	

Для определения кратностей перенапряжений и эффективности их ограничения с помощью ОПН-ПРН были проведены расчеты в программе МАЭС. В расчетных схемах были приняты реально существующие объекты с соответствующими эквивалентными параметрами питающей и приемной энергосистем, ВЛ 220 и 500 кВ.

В расчетах моделировались самоустраняющиеся однофазное короткое замыкание (СКЗ) и автоматическое повторное включение ВЛ в циклах однофазного и трехфазного автоматического повторного включения (ОАПВ и ТАПВ). Место замыкания на ВЛ варьировалось с шагом в четверть длины ВЛ. Результаты расчетов были сведены в таблицы 2-5.

Таблица 2 – Величина перенапряжений на ВЛ 220 кВ при СКЗ без ОПН/ с ОПН

Место КЗ, <i>Lk/L</i>	Кратность перенапряжений, о.е., в точке измерения <i>Lx/L</i> :				
	0	0,25	0,5	0,75	1
0	1,69/1,21	1,28/1,27	1,84/1,29	2,02/1,32	1,71/1,30
0,25	1,23/1,15	1,55/1,28	2,01/1,32	1,89/1,29	1,36/1,26
0,5	1,83/1,11	1,66/1,28	1,38/1,24	1,68/1,28	1,44/1,19
0,75	1,16/1,10	1,52/1,27	1,73/1,28	1,72/1,24	1,42/1,22
1	1,28/1,11	1,84/1,29	1,95/1,31	1,67/1,28	1,45/1,27

Таблица 3 – Величина перенапряжений на ВЛ 500 кВ при СКЗ без ОПН/с ОПН

Место КЗ, <i>Lk/L</i>	Кратность перенапряжений, о.е., в точке измерения <i>Lx/L</i> :				
	0	0,25	0,5	0,75	1
0	1,88/1,46	1,28/1,52	1,86/1,55	1,54/1,52	1,44/1,47
0,25	2,01/1,42	1,94/1,53	2,19/1,58	1,51/1,45	2,02/1,51
0,5	2,08/1,44	1,78/1,44	2,80/1,45	1,77/1,44	1,95/1,36
0,75	2,13/1,43	1,67/1,51	2,31/1,53	1,91/1,57	1,87/1,73
1	2,07/1,46	1,51/1,50	2,04/1,56	1,53/1,53	1,58/1,42

Таблица 4 – Величина перенапряжений на ВЛ 220кВ при ТАПВ без ОПН/с ОПН

Место КЗ, <i>Lx/L</i>	Кратность перенапряжений, о.е., в точке измерения <i>Lx/L</i> :				
	0	0,25	0,5	0,75	1
0	1,37/1,02	1,73/1,29	2,09/1,28	2,02/1,27	2,47/1,29
0,25	1,02/0,91	1,28/1,20	1,66/1,28	1,69/1,25	1,84/1,25
0,5	1,06/1,06	1,80/1,33	2,22/1,32	2,46/1,31	2,31/1,27
0,75	0,76/0,76	1,39/1,26	1,63/1,28	1,74/1,27	1,93/1,26
1	1,05/1,05	1,34/1,24	1,39/1,25	1,77/1,26	1,70/1,22

Таблица 5 – Величина перенапряжений на ВЛ 500 кВ при ОАПВ без ОПН/с ОПН

Место КЗ, <i>Lk/L</i>	Кратность перенапряжений, о.е., в точке измерения <i>Lx/L</i> :				
	0	0,25	0,5	0,75	1
0	1,08/1,07	1,13/1,12	1,34/1,33	1,43/1,42	1,23/1,22
0,25	0,97/0,97	1,22/1,21	1,28/1,27	1,42/1,41	1,33/1,32
0,5	0,76/0,75	1,11/1,10	1,26/1,25	1,58/1,52	1,28/1,27
0,75	1,01/0,98	1,01/1,01	1,32/1,32	1,19/1,19	1,65/1,48
1	0,92/0,92	1,02/1,02	1,24/1,24	1,33/1,33	1,34/1,34

По результатам расчетов можно сделать вывод, что ОПН эффективно ограничивает перенапряжения на линиях 220 и 500 кВ при самоустраняющихся КЗ и АПВ. Это уменьшит вероятность перекрытия изоляционных промежутков в зоне ПРН. Вместе с тем, в расчетах перенапряжений, сопровождающих ОАПВ ВЛ 500 кВ были получены малые кратности перенапряжений. По-видимому, это связано с параметрами примыкающих систем, принятыми в расчетах, и установка ОПН в данной ситуации оказалась нецелесообразной. В связи с этим можно сделать вывод, что для каждой конкретной линии и примыкающих к ней систем необходим индивидуальный расчет при подготовке к ПРН.

В данный момент фирмой ЗАО «Феникс-88» разработаны и изготовлены опытные образцы ОПН-ПРН. В них для облегчения конструкции были введены искровые промежутки. Испытания показали характеристики ОПН-ПРН, отличающиеся от применявшихся нами в расчетах. Поэтому полученные расчетные результаты надо рассматривать как некоторое «идеальное» приближение к решению проблемы ПРН в стесненных условиях.

Дальнейшее развитие исследований будет иметь два продолжения. Во-первых, будет проведена оптимизация ОПН-ПРН для соответствия их характеристик заявленным требованиям. Во-вторых, будет проведена корректировка расчетов с учетом изменившихся характеристик ОПН-ПРН и с вариацией параметров ВЛ и примыкающих к ним энергосистем. Наконец, практическое внедрение потребует решения ряда других вопросов, которых автор статьи еще не затронул.

*Список использованных источников*

1. **ГОСТ 28259-89.** Производство ремонтных работ под напряжением в электроустановках. Основные требования. - М.: Изд-во стандартов, 1989.
2. **Батраков А.М, Коробков Н.М., Овсянников А.Г.** Производство ремонтных работ под напряжением на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения. – Новосибирск: Наука, 2009.
3. **Справочник** по электроустановкам высокого напряжения /Под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. – М.: Энергоатомиздат, 1989.