

Защита изоляции воздушных линий от перенапряжений

СЕТИ
РОССИИ

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

За последнее десятилетие в электрических сетях нашей страны получило развитие направление, связанное с повышением грозоупорности воздушных линий при помощи установки на опорах защитных аппаратов. Чаще всего для защиты воздушных линий применяют ограничители перенапряжений ОПН.

Михаил ДМИТРИЕВ, доцент

Санкт-Петербургского политехнического университета, к.т.н.

ВВЕДЕНИЕ

В начале 2015 года в России был введён в действие стандарт СТО 56947007-29.130.10.197-2015 «Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6—750 кВ». О том, что документ следовало бы проработать более тщательно, становится ясно уже при ознакомлении с его содержанием.

Во-первых, хотя стандарт заявлен как «6—750 кВ», по сути, он касается лишь сетей 35—750 кВ и никак не затрагивает классы 6—20 кВ. Во-вторых, в стандарте даже не упоминается такое понятие как «ОПН», а весь материал посвящён неким «ЛР» и «ЛО» — линейным разрядникам и линейным ограничителям.

По всей видимости, эти и многие другие более серьёзные недочёты стандарта являются следствием спешки, в которой его разрабатывали. Зачем надо было так торопиться — не очень понятно. Также непонятно, удастся ли теперь как-то исправить документ, ведь хотя формально это возможно, но на практике наверняка будет очень непросто и потребует совместных усилий целого ряда структур, и без того загруженных работой.

В нашей стране большое число специалистов в области защиты от

грозовых перенапряжений как линий электропередачи, так и распределительных устройств. Безусловно, многие из них получали на отзыв и первую, и последующие редакции проекта стандарта [1], но их работа не могла быть эффективной, поскольку:

- разработчики документов, как это всегда и было, в сводных таблицах отзывов указывают по своему усмотрению «замечание принимается» или «замечание не принимается», не особо утруждая себя переделкой исходного варианта текста и отмечая тем самым альтернативные мнения оппонентов;
- работа рецензентов не оплачивается, и у специалистов просто нет возможности в таких условиях потратить несколько дней и сформулировать обстоятельные замечания, присутствовать на согласительных совещаниях в Москве, приезжая из других городов за свой счёт.

В связи с введением стандарта [1] хотелось бы высказаться относительно использованной в нём терминологии, по поводу выбора способа крепления ОПН к опорам ВЛ, а также в целом по концепции этого нормативного документа.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

Ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН) — это хорошо известный энергетикам защитный аппарат. Изначально ОПН применялись только для защиты изоляции оборудования распределительных устройств (РУ), но впоследствии их стали применять и для защиты воздушных линий (ВЛ). По моему мнению, нельзя переименовывать ОПН в какое-то новое устройство лишь потому, что его поставили не на территории РУ, а за его пределами.

ОПН для РУ и ОПН для ВЛ имеют идентичную конструкцию, а все отличия связаны лишь со способом крепления к токоведущим частям и заземлению, т.е. два указанных аппарата имеют разные фланцы, да и то не всегда. Отсюда возникает вопрос — с какой целью обычный ОПН, но установленный на ВЛ, в стандарте [1] назвали неким новым термином «линейный ограничитель ЛО»?

С введением понятия «линейный ограничитель ЛО» у инженеров возникают вопросы: что ограничивает ЛО и чем он отличается от ОПН? Если попробовать уточнить понятие ЛО, добавив в название упоминание того, а что именно собрались ограничивать и каким способом, то получится совсем неудачное выражение вроде «линейный ограничитель перенапряжений нелинейный».

Возникают и другие вопросы. Например, как быть, если в РУ установлен ОПН не традиционного опорного исполнения, а подвесного — надо ли называть его ЛО? Также и обратная ситуация: для защиты изоляции ВЛ применён ОПН опорного исполнения, закреплённый на траверсах — правомерно ли называть такой типовой ОПН линейным ограничителем ЛО?

Очевидно, что понятие «линейный ограничитель ЛО» со всех точек зрения является неудачным. Похожие претензии можно высказать и к используемому в [1] понятию «линейный разрядник ЛР». Термин «разрядник» в делах защиты от перенапряжений у многих вызывает ассоциацию с вентиляными разрядниками, которые сняты с производства и не применяются, да и вообще имеют другую элементную базу. А если начать уточнять ЛР и говорить «линейный разрядник на основе ОПН», то тоже ничего хорошего не выйдет.

Считаю, что в нашей стране в вопросах грозозащиты ВЛ надо придерживаться совсем не таких названий, как в [1], а следующих:

- ОПН, если речь идёт о присоединении к линии ОПН без искрового промежутка;
- ОПНИ, если речь идёт о присоединении ОПН через искровой промежуток.

Такая терминология, в отличие от [1], используется во многих отечественных работах, она очевидна и исключает двоякое толкование. В частности, она есть и в книге [2].

СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ОПН К ОПОРЕ ВЛ

Итак, для линий существует два основных типа защитных аппаратов, которые построены по принципу нелинейной вольтамперной характеристики (рис. 1):

- ОПН (в [1] он неудачно назван ЛО);
- ОПНИ (в [1] он неудачно назван ЛР).

К сожалению, стандарт [1] рассматривает оба типа защитных аппаратов на равных, не высказывая предпочтений в сторону того или иного из них.

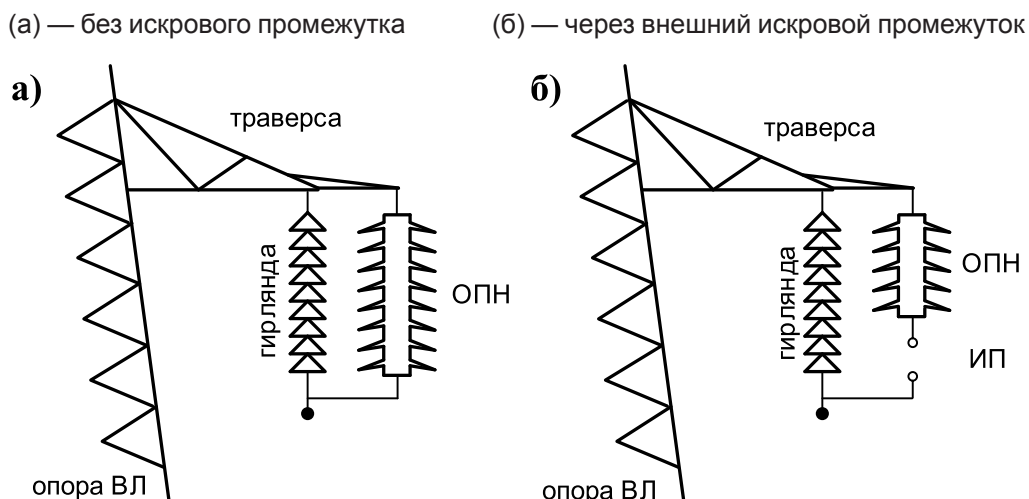
Изначально в сетях появились ОПН без искрового промежутка. Отсутствие искрового промежутка считалось значительным преимуществом ОПН, поскольку исключало ошибки, связанные с неверной его настройкой, упрощало конструкцию аппарата. Когда же возникла идея использовать ОПН не только для защиты РУ, но и на воздушных линиях, то в силу большого числа устанавливаемых на линии ОПН стали искать способы снизить стоимость каждого аппарата.

Если оснастить ОПН для ВЛ внешним искровым промежутком (ИП), то он убирает воздействие на нелинейные элементы ОПН рабочего напряжения сети и тем самым позволяет снизить высоту колонки нелинейных элементов и её стоимость. Однако отечественный опыт эксплуатации ВЛ 110 кВ нефтегазового комплекса показал, что искровые промежутки не всегда стабильно срабатывают при грозовых воздействиях, и по этой причине ОПНИ не столь сильно повышает грозоупорность ВЛ, как этого удаётся достичь при помощи ОПН без искрового промежутка.

Также оказалось, что хотя у ОПНИ высота колонки нелинейных элементов меньше, но энергоёмкость элементов должна быть больше, поскольку из-за ИП не всегда соседние ОПНИ помогают друг другу в рассеивании энергии тока молнии. Сниженная высота колонки при увеличенном её диаметре приводит к тому, что цены ОПНИ и ОПН мало отличаются друг от друга, тогда как надёжность срабатывания у ОПН явно выше.

Некоторые специалисты утверждают, что ОПНИ всё же лучше ОПН, ведь у ОПНИ нет старения нелинейных элементов, вызванного рабочим напряжением сети, а также коммутационными и квазистационарными перенапряжениями. Подобные рассуждения никак нельзя принять по следующим причинам:

Рис. 1. Принципиальные способы крепления ОПН к опоре



- длительное воздействие на ОПН рабочего напряжения полезно, так как, согласно исследованиям, приводит к восстановлению первоначальной вольтамперной характеристики ОПН, компенсируя деградацию свойств нелинейных элементов, вызванную прохождением импульсных токов; также длительное воздействие напряжения «подсушивает» аппарат, снижая риск его увлажнения;
- коммутационные перенапряжения не могут быть аргументом, ведь их энергия значительна лишь для протяжённых воздушных линий 330—750 кВ длиной более 400—500 км, а с учётом её деления между многими установленными на линии ОПН про коммутационные перенапряжения можно не вспоминать даже и для таких очень длинных ВЛ;
- квазистационарные перенапряжения почти не представляют опасности для ОПН при верном выборе его наибольшего рабочего напряжения $U_{нрО}$; для повышения надёжности ОПН на ВЛ допустимо применять ОПН с повышенным $U_{нрО}$, так как изоляция ВЛ обладает большей импульсной прочностью по сравнению с внутренней изоляцией оборудования РУ.

Лишь для длинных ВЛ 330—750 кВ при единичной установке ОПНИ наличие искрового промежутка является определённым преимуществом (из-за того, что такой ОПНИ не будет срабатывать от коммутационных перенапряжений), тогда как в остальных случаях искровой промежуток — недостаток. Ещё раз хочется обратить внимание, что отсутствие искрового промежутка позволяет [2]:

- ускорить вступление ОПН в работу по ограничению перенапряжений;
- исключить неверную работу промежутка вследствие ошибок монтажа;
- рассеивать энергию грозových перенапряжений одновременно в большом числе ОПН, снижая нагрузки на каждый из них и повышая надёжность технического решения.

Важнейшим фактором, который следует учитывать при выборе способа присоединения ОПН к опоре, является возможность дальнейшей эксплуатации ВЛ в случае повреждения одного из установленных ОПН.

ОПНИ, как правило, имеет жёсткое крепление к опоре, необходимое для обеспечения постоянства габаритов искрового промежутка. При выходе из строя ОПНИ на ВЛ возникает место с ослабленной электрической прочностью, поскольку разрядное напряжение ИП меньше, чем у гирлянды изоляторов линии. Обнаружение такого места бывает затруднено, поскольку повреждение ОПНИ может никак не сказаться на его внешнем виде, а значит

не всегда этот аппарат возможно будет обнаружить визуальным осмотром при обходе ВЛ.

Отсутствие искрового промежутка позволяет присоединить ОПН к опоре с помощью гибкого шлейфа, в который устанавливается специальное устройство — «отделитель» (рис. 2,а). Согласно [2] отделитель:

- не проявляет себя в нормальном режиме работы, когда через ОПН проходят токи проводимости ОПН, составляющие доли миллиампер;
- не проявляет себя в режиме ограничения грозových и коммутационных перенапряжений, когда через ОПН проходят импульсные токи;
- разрушается (рис. 2,б) при выходе ОПН из строя вследствие протекания в нём повышенных токов промышленной частоты.

В сетях с заземлённой нейтралью (в России это 110—750 кВ) в случае повреждения ОПН в нём пройдёт ток однофазного короткого замыкания сети, который приведёт к быстрому разрушению отделителя и отсоединению ОПН от линии ещё до отключения ВЛ головными выключателями. Хотя линия всё же будет кратковременно отключена (ведь защита успела зафиксировать повреждение), её автоматическое повторное включение (АПВ) будет успешным. При этом наличие разорванного шлейфа не мешает дальнейшей эксплуатации ВЛ и при осмотре ВЛ однозначно укажет на повреждённый аппарат (рис. 2,б).

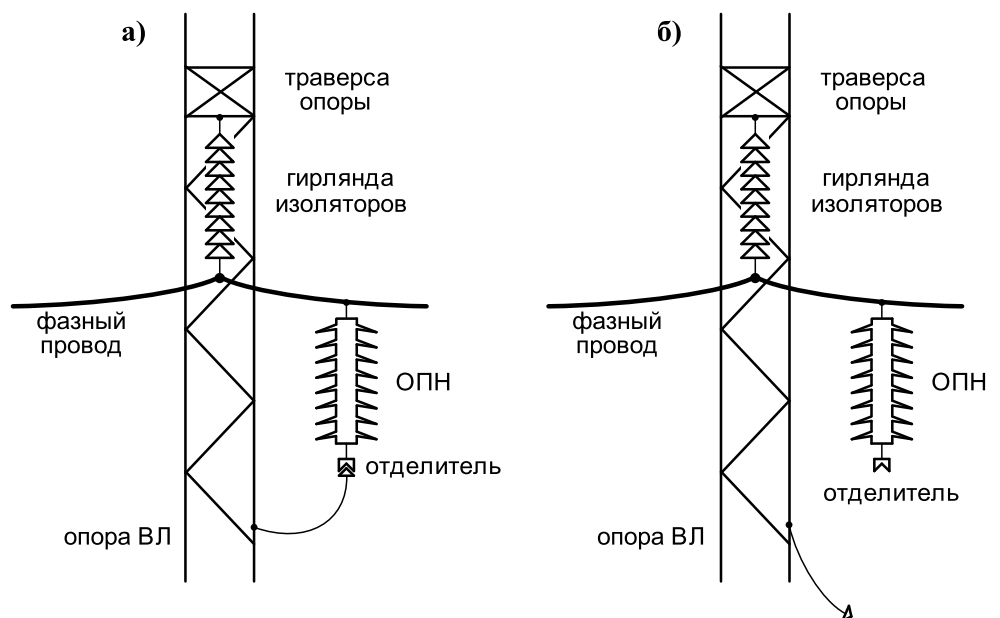
Учитывая изложенное, доминирующим типом ОПН для защиты ВЛ 110—750 кВ должен быть аппарат без искрового промежутка, подключённый к линии через отделитель, и подобные рекомендации было бы полезно добавить в стандарт [1].

В сетях с изолированной или компенсированной нейтралью (в России это 6—35 кВ) всё несколько сложнее. Дело в том, что при повреждении ОПН в нём протекают лишь малые (ёмкостные) токи замыкания на землю, которые не способны привести к надёжному срабатыванию отделителя. Отсутствие

Рис. 2. Вариант присоединения к опоре ОПН без искрового промежутка через отделитель

(а) — до повреждения ОПН

(б) — после повреждения



проверенной в эксплуатации конструкции отделителя для сетей 6—35 кВ является тем фактором, из-за которого на ВЛ 6—35 кВ в настоящее время лучше применять ОПНИ, ведь такие аппараты в случае повреждения хотя и являются местом ВЛ, где её изоляция ослаблена, но всё же позволяют осуществлять дальнейшую эксплуатацию линии без необходимости срочного её отключения с целью поиска и замены вышедшего из строя аппарата.

Итак, для ВЛ 6—35 кВ в сетях с изолированной (компенсированной) нейтралью ситуация с искровым промежутком не так однозначна, как для ВЛ 110—750 кВ, и в настоящее время, по всей видимости, лучше применять ОПНИ. Использование же ОПН без искрового промежутка целесообразно отложить до появления отделителя малых токов, или же до времён, когда сеть будет переведена от изолированной к резистивно заземлённой нейтрали, где токи замыкания достигают уже сотен Ампер и достаточны для работы обычного отделителя.

ОПН КАК АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦИОННЫМ СРЕДСТВАМ ЗАЩИТЫ ВЛ

Основными традиционными средствами повышения грозоупорности ВЛ являются установка на опорах молниезащитных тросов и снижение сопротивления заземления опор. Необходимость в защите ВЛ при помощи ОПН возникает главным образом тогда, когда исчерпаны традиционные возможности или их реализация технически неэффективна и экономически нецелесообразна.

Для воздушных линий 6—35 кВ в силу недостаточной прочности изоляции традиционные средства повышения грозоупорности (трос, заземление) оказываются малоэффективными и почти не применяются, а установка ОПН (или ОПНИ) на опорах в ряде случаев оказывается единственным действенным решением.

Для воздушных же линий 110—750 кВ, если заземление и тросовая защита выполнены должным образом, в большинстве случаев нет никакой необходимости в массовой установке ОПН вдоль всей трассы ВЛ, и потребность в ОПН ограничена всего лишь какими-то заведомо неблагополучными участками трассы (пересечения с ВЛ более высокого класса напряжения, переходы через реки, др. места).

Ощутимая потребность в ОПН на ВЛ 110—750 кВ появляется тогда, когда в силу различных причин традиционные средства не реализованы в полной мере:

- на части трассы или на всём её протяжении отсутствует тросовая защита;
- не обеспечены достаточно малые сопротивления заземления опор.

К сожалению, может произойти так, что открывшаяся в последние годы возможность эффективно защищать изоляцию ВЛ 110—750 кВ от грозовых перенапряжений с помощью современных ОПН приведёт к ухудшению качества строительства, к усоренению небрежного отношения к традиционным, проверенным годами средствам обеспечения достаточной грозоупорности ВЛ: зачем рыть землю



ИФН-300 измеритель сопротивления петли ФАЗА-НУЛЬ, ФАЗА-ФАЗА

- Измерение полного, активного и реактивного сопротивления цепи фаза-нуль (земля), фаза-фаза без отключения источника питания (0,01–200 Ом);
- измерение электрического сопротивления постоянному току (металлосвязь) от 0,01 до 999 Ом;
- вычисление ожидаемого тока короткого замыкания, приведенного к напряжению сети 220 В до 22 кА и 380 В до 38 кА;
- беспроводная связь с компьютером, обработка данных в программе RS-Terminal®;
- диапазон измерения напряжения переменного тока до 450 В.

СДЕЛАНО В РОССИИ
СРОК ПРОВЕРКИ 2 ГОДА



ИС-20, ИС-20/1 измерители сопротивления заземления

- Измерение сопротивления заземления трех- или четырехпроводным методом;
 - измерение сопротивления металлосвязи;
 - беспроводная связь с компьютером;
 - вычисление удельного сопротивления грунта в Ом/м;
- Дополнительно для ИС-20/1:**
- измерение сопротивления без вспомогательных электродов с применением двух клещей;
 - измерение сопротивления единичного заземлителя в многоэлементном заземлении без разрыва цепи заземлителей.

СДЕЛАНО В РОССИИ
СРОК ПРОВЕРКИ 2 ГОДА

Е6-32, Е6-31/1, Е6-31 мегаомметры

Е6-32	Е6-31	Е6-31/1
от 1 кОм до 300 ГОм	до 10 ГОм	
от 50 до 2500 В с шагом 10 В	500, 1000, 2500 В	100, 250, 500, 1000 В

- Измерение переменного напряжения до 700 В;
- автоматический расчет коэффициента абсорбции;
- автоматическое снятие заряда и индикация остаточного напряжения на объекте по окончании измерения;

СДЕЛАНО В РОССИИ
СРОК ПРОВЕРКИ 2 ГОДА

Дополнительно для Е6-32:

- измерение классификационного напряжения ограничителей перенапряжения 100–1500 В;
- измерение напряжения пробоя разрядников 100–3000 В;
- измерение сопротивления металлосвязи от 0,01 Ом до 9,99 кОм;
- расчет коэффициента поляризации;
- беспроводная связь с компьютером.

**Точность измерений
по доступной цене**



РАДИО-СЕРВИС www.radio-service.ru

тел.: (3412) 43-91-44, факс: (3412) 43-92-63, e-mail: office@radio-service.ru

под опорой или менять старый трос на новый, когда можно просто установить ОПН?

Вместе с тем, экономические расчёты показывают, что защита всей трассы ВЛ с помощью ОПН может обойтись в 2 и более раз дороже установки (или замены на новый) традиционного молниезащитного троса. Учитывая изложенное, при строительстве или реконструкции ВЛ 110—750 кВ массовую установку ОПН на опорах следует рассматривать лишь как дополнительное средство повышения грозоупорности,

Рис. 3. Подвесные ОПН без искрового промежутка на двухцепной ВЛ 400 кВ «Линке-1,2»



Рис. 4. Подвесные ОПН без искрового промежутка на ВЛ 110 кВ без троса в районе Туапсе




применяемое в исключительных случаях, необходимость в котором должна быть тщательно технически и экономически обоснована.

Массовое применение ОПН для защиты ВЛ от грозových перенапряжений было бы выгодно производителям этих аппаратов, также такое техническое решение симпатично и сетевым компаниям, ведь является отчасти инновационным. Однако в России, как мне кажется, до сих пор было лишь 3 места, где, невзирая на огромную стоимость повышения грозоупорности ВЛ за счёт массовой установки ОПН на ВЛ, она всё-таки была использована.

1. Имиджевый для нашей страны проект экспорта электроэнергии в Финляндию по ВЛ 400 кВ, проходящей по трассе со скальными грунтами и имеющей из-за этого высокие сопротивления заземления опор (рис. 3).
2. Черноморское побережье РФ, где из-за комплекса климатических факторов на некоторых ВЛ было выгодно отказаться от молниезащитных тросов, возложив функции обеспечения достаточного уровня грозоупорности на подвесные ОПН (выделение значительных средств на эти проекты, наверное, было возможно отчасти из-за необходимости обеспечения надёжного электроснабжения региона на период проведения в 2014 году сочинской зимней олимпиады, рис. 4).
3. Предприятия нефтегазового комплекса, терпящие значительные экономические ущербы от каждого отключения питающих ВЛ 35—220 кВ (на линиях есть и молниезащитные тросы, и приемлемое сопротивление заземления опор, но здесь потребителям нужен полный уход от грозových отключений).

Если бы на момент практической реализации проектов п. 1—3 в нашей стране уже был бы стандарт [1] со всеми его многочисленными обобщёнными расчётами для типовых ВЛ разных классов напряжения, то это всё равно вряд ли помогло бы, ведь эти проекты с трудом подпадают под [1] в силу своей уникальности как по условиям прохождения трассы, так и по типам опор, длинам пролётов.

Учитывая изложенные соображения, возникает вопрос, действительно ли был нужен стандарт [1] в том виде, в котором он получился? Мне кажется, что вместо 137 страниц, значительная часть которых касается расчётов для типовых ВЛ разных классов напряжения, лучше было бы разработать небольшой документ, где упор был бы сделан на грамотной постановке задачи грозозащиты ВЛ, на введении удобной и логичной терминологии, на формулировании принципов применения ОПН без искрового промежутка и с ним, на методах расчёта, но никак не на самих расчётах. 

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 56947007-29.130.10.197-2015. Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6—750 кВ // ОАО «ФСК ЕЭС», 2015.
2. Дмитриев М.В. Применение ОПН для защиты изоляции ВЛ 6—750 кВ // http://mvdn.ru/wp-content/uploads/2015/04/Dmitriev_kniga3.pdf