Третья Российская
с международным участием
научно-практическая конференция
Новосибирск

ЛЭП 2008

Линии электропередачи 2008:
проектирование, строительство
опыт эксплуатации и
научно-технический прогресс

ПОДВЕСНЫЕ ОПН КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ (ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ)

Зубков А.С., Власов В.В., Сухар А.В.

Повышение надежности эксплуатации воздушных линий электропередач при их грозовых поражениях остается до сих пор одной из важнейших задач электроэнергетики. Актуальность этой проблемы особенно остро ощущается при проектировании и эксплуатации ВЛ высших классов напряжения. Авторы [1] приводят обобщенные сведения по причинам аварийных отключений в сетях ФСК за 1998-2003 г.г. ВЛ 330-500-750 кВ. По их данным количество отключений при грозовых воздействиях составляет не менее 11% от общего числа отключений. При этом данные относятся к линиям оснащенным грозотросами.

Экскурс в историю.

Последние 20 лет наряду с подстанционными защитными аппаратами широкое применение находят защитные аппараты, предназначенные для защиты линейной изоляции ВЛ (ОПН-Л). ОПН-Л были впервые разработаны и начали широко применяться в Японии и США в 80-ых годах для защиты ВЛ на напряжения 66 кВ, 77 кВ и 138 кВ [2].

К 1992 году в электрических сетях Японии было установлено 29580 аппаратов: 840 аппаратов на ВЛ 22-33 кВ (2.84 %), 26495 аппаратов на ВЛ 66-77 кВ (89.57 %), 1879 на ВЛ 110 - 154 кВ (6.35%) и 366 - на ВЛ 187-500 кВ (1.24 %) [3]. В Японии ежегодно устанавливается около 7000 штук ОПН-Л. Аналогичное происходит и в США и в других странах. Так более половины из 30 энергокомпаний в США применяют защитные аппараты на линиях 69-230 кВ.

Рис. 2. ОПН-Л на линии 800 кВ.

Уже к 1994 году в Японии ОПН-Л были установлены на 22 воздушных линиях класса 500 кВ [4], а на сегодняшний день ОПН-Л уже установлены и на линиях 800 кВ [5].

Прежде всего широкое применение в Японии ОПН-Л находят для защиты двухцепных ВЛ. Аппараты установлены либо на трех фазах одной цепи (97.07 %), либо на всех шести фазах двух цепей (2.58 %), либо на двух фазах одной цепи (0.35 %), либо на одной из шести фаз (всего два аппарата). Статистический анализ эксплуатации ВЛ, оснащенных подвесными ОПН, показал весьма ощутимое повышение их надежности. На ВЛ, на которых ОПН установлены на каждой фазе, отключений одновременно двух цепей не наблюдалось, в 60 % происходили лишь отключения одной цепи. На ВЛ же, не оснащенных подвесными ОПН, в 60 % случаев наблюдались двухцепные отключения, в остальных случаях – отключения одной цепи. Однако эти данные относились лишь к началу эксплуатации подвесных ОПН, которая в настоящее время продолжается.

Имеются и другие зарубежные публикации о повышении надежности эксплуатации ВЛ путем установки на них ограничителей. В частности, в [6] и [7] рассматривается конструкция оксидно-цинковых аппаратах, установленных на опорах ВЛ 138 кВ. В настоящее время актуальность этого вопроса подтверждается решением 33 комитета СИГРЭ 1999г [8]. В Бразилии для повышения надежности воздушных линий классов напряжений до 230 кВ, т.е.

тех линий, где 50-70% всех повреждений происходят по вине грозовых перенапряжений, применяются ОПН-Л. На 2006 г таких аппаратов было установлено более чем 2500 штук [9]

В частности ОПН-Л, устанавливаются на линиях 63-90 кВ Франции, проходящих вблизи мест пребывания людей (парки, игровые площадки) [10]. Защитные аппараты установлены на каждой опоре.

Рис. 3. ОПН-Л на линии 400 кВ «Линке-1,2».

Воздушная линия 400 кВ «Линке – 1,2» в МЭС «Северо-Запада» России проходит по сухим песчаным и скальным грунтам. До оснащения ВЛ ОПН-Л грозовые перенапряжения приводили к тому, что отключались одновременно две цепи в среднем 1-2 раза в год. Грозозащита этой линии была пересмотрена и модернизирована оснащением аппаратами типа ОПН-Л, которые были установлены на «проблемном» участке линии на всех трех фазах обеих цепей на каждой опоре. В течение 3 лет с момента установки ЛР в 2004 г. грозовые отключения на данной линии и повреждения ОПН зафиксированы не были [11].

Авторами [12] приведен способ защиты ВЛ 420 кВ длиной 5 км, компактного исполнения (расстояние между фазами 5 м). На ВЛ отсутствуют грозозащитные тросы, сопротивление заземления от 10 Ом до 52 Ом. Применяются ОПН-Л в количестве 23 шт. Защитные аппараты установлены на каждой опоре.

В энергосистеме Румынии на ВЛ 400 кВ, соединяющей подстанции Брасов и Гутинас, общей протяженностью 126 км на безтроссовом участке длиной 2,76 км, проходящем в горной местности, были установлены ОПН-Л в количестве равном 75 % от общего числа изоляторов безтроссового участка. Наряду с установкой ОПН-Л на линии установлены стержневые молниеприемники. Расположение фаз горизонтальное. По расчетным данным оснащение крайних фаз этого участка защитными аппаратами, позволит в 10,5 раз уменьшить число перекрытий линейной изоляции в год по сравнению с вариантом, при котором на линии отсутствуют какие либо средства защиты [13].

Рис. 4. ОПН-Л на линии 400 кВ.

В большом количестве устанавливаются ОПН-Л в Китае [14] на опорах ВЛ классов 132 кВ и 400 кВ, расположенных преимущественно в холмистой местности.

Относительно мест расстановки ОПН-Л (т.е. на каких опорах устанавливать защитные аппараты), то в основном практикуется установка ОПН-Л на каждой опоре. В общем случае частоту установки рекомендуется определять в зависимости от требуемой надежности защиты.

Из опыта эксплуатации ВЛ 115 кВ в США известно, что те линии, которые оснащены защитными аппаратами (защищены все опоры и все фазы) уже 5 лет эксплуатируются без отключений. Однако не маловажно отметить, что в результате установки защитных аппаратов на пяти опорах, принадлежащих участку ВЛ, проходящему по вершине холма отключения линии прекратились, тогда как до применения защитных аппаратов линия отключалась по 4 раза в год [15].

Как видно из обзора ОПН-Л находят все большее применение во всем мире и на всех классах напряжения вплоть до 800 кВ.

Выбор мест установки ОПН.

Следует отметить, что первостепенными нишами такой защиты являются:

- высокие переходные пролеты через водоемы и другие преграды на рельефе трассы ВЛ;
- места на ВЛ с ослабленной изоляцией;
- двухцепные электропередачи с вертикальной подвеской проводов. При этом необходимо защитить хотя бы одну цепь участка трассы ВЛ;
- места ВЛ, проходящей через районы с локальной повышенной грозопоражаемостью;
- районы с плохо проводящими грунтами и большим сопротивлением заземления опор;
- ВЛ, на которых отсутствуют грозотросы и др.

Анализ целесообразности установки подвесных ОПН на всех фазах защищаемого участка ВЛ следует производить с учетом их грозопоражаемости, грозовой интенсивности, уровня сопротивления заземления опор, ущербов от перекрытий изоляции, требуемого уровня надежности и т.д. Повышенные значения сопротивлений заземления опор могут привести не только к увеличению числа требуемых ОПН, но и к необходимости уменьшения сопротивления заземления опор или даже в дополнительном проводе, подвешенном под основными проводами, и соединенного с контурами заземления подстанций. А также, необходимо, прежде всего, оценить влияние на надежность эксплуатации ВЛ ряда факторов, к которым следует отнести:

- пониженный уровень изоляции;
- не соответствие техническим требованиям состояния тросов (их целостность – нерасплетенность);
- влияние деревьев, расположенных вблизи трасы и т.д.

При наличии хотя бы одного из таких факторов установка ОПН на опорах может не только не повысить надежность эксплуатации ВЛ, но и сформировать негативное отношение к самой идее такой защиты ВЛ.

Таким образом, можно предложить различные решения по установке ОПН на опорах. Основные же принципы такой установки можно сформулировать следующим образом:

- Для защиты фаз ВЛ от перенапряжений, вызванных ударами молний в опору или в трос вблизи опоры, устанавливается необходимое количество ОПН с малой пропускной способностью;
- Для защиты фаз ВЛ от перенапряжений, вызванных ударами молний в фазные провода на верхних фазах устанавливаются ОПН с большой пропускной способностью;
- Для экономически целесообразной надежной защиты ВЛ от перенапряжений, вызванных любыми проявлениями грозовой деятельности, на опорах целесообразно устанавливать ОПН, как с большой, так и с малой пропускной способностью;
- Проектирование грозозащиты ВЛ с помощью подвесных ОПН необходимо производить при конкретной привязке к объекту.

Стоит отметить, что существуют два типа аппаратов: ОПН с внешним искровым промежутком (ОПН-ЛИ) (см. рис.6-10) и без искрового промежутка (ОПН-Л) (см. рис.5). Оба типа аппаратов имеют, как плюсы, так и минусы (см. табл.1).

Рис.5 ОПН-Л 110÷500, оснащенные отделителями.

Таблица 1

Сравнение защитных аппаратов, оснащенных ИП (ОПН-ЛИ) и отделителем (ОПН-Л)

Требования	**ОПН-ЛИ**	**ОПН-Л**
Область применения. Защита от	грозовых перенапряжений	грозовых и коммутационных перенапряжений.
Ограничение перенапряжений	низкий уровень остающегося напряжения	большая зона чувствительности
Удар молнии в пролет	работают два ОПН, установленные по концам пролета.	работают несколько ОПН, в том числе, установленные на соседних опорах.
Выявление дефектного аппарата	только после его повреждения по следам повреждений корпуса.	используя тепловизионный контроль.
Выявление поврежденного аппарата	по следам повреждения.	при срабатывании отделителя.
Влияние загрязнения внешней оболочки на работоспособность аппарата.	не повлияет	При многомодульной конструкции возможен перегрев аппаратной части отдельных модулей.
Влияние атмосферных условий.	Да	Нет
Влияние конструкции ИП и способа крепления аппарата	Да	Нет

Опыт применения ОПН-Л производства ЗАО «ФЕНИКС-88».

Нами были разработаны ОПН, предназначенные для повышения грозозащиты ВЛ 110-500 кВ. Такие защитные аппараты были применены в следующих проектах:

1. Защита перехода ВЛ 110 кВ через гидроотвал на филиале «Ерунаковский угольный разрез». Кузбасские электрические сети. Применены ОПН с глухим присоединением.

2. «Повышение грозоупорности ВЛ 110 кВ «Контур-Ай-Пимская 1,2». Сургутские электрические сети. Применены ОПН с искровым промежутком (ИП).

3. «Повышение грозоупорности ВЛ «Губкинская-Новогодняя 1,2». Ноябрьские электрические сети. Применены ОПН с ИП.

В таблице 2 приведены основные параметры рассматриваемых ВЛ.

Таблица 2

Характеристики ВЛ «Контур-Ай-Пимская 1,2», «Губкинская-Новогодняя 1,2»

Параметр \ Линия		Губкинская-Новогодняя 1,2 с отпайкой на ПС «Вынгаяхинская»	Контур-Ай-Пимская 1,2
Протяженность ВЛ		73,1 км	46,74 км
Сопротивление опор		от 50 до 300 Ом	
Средняя годовая продолжительность гроз		30 часов	
Среднее число грозовых отключений ВЛ *		**8,3/100 км/год**	**7,1/100 км/год**
число грозовых отключений	одной цепи	8	7
	второй цепи	9	9
	двух цепей одновременно	**15**	**18**
Типы опор		П110-4 – 173 шт	ПБ 110-2 – 112 шт
		ПМО 110-3 – 25 шт	П110-2÷4 – 66 шт
		У110-2÷8 – 23 шт	У110-2÷8 – 21 шт

*Для ВЛ «Губкинская-Новогодняя 1,2» с отпайкой на ПС «Вынгаяхинская» данные приведены за период 2001÷2006 г.г., для ВЛ «Контур-Ай-Пимская 1,2» данные приведены за период 2001÷2007 г.г.

Как видно из табл.1 доля двухцепных отключений ВЛ составляет *около 50%.*

Для повышения грозоупорности ВЛ филиалом ОАО «НТЦ Электроэнергетики»-СибНИИЭ» были осуществлены проекты реконструкции ВЛ. Согласно которым ОПН, устанавливаемые на опорах, должны стать средством позволяющим повысить грозоупорность ВЛ. Такая мера защиты должна обеспечить следующие показатели грозоупорности ВЛ:

- число двухцепных отключений – не более 0,1/100 км/год;
- число одноцепных отключений – не более 2,0/100 км/год.

Проектной организацией были выдвинуты требования к ОПН, заключающиеся в следующем:

- ОПН-ы должны обеспечить защиту изоляции линии от повреждения при ударе молнии, при этом риск повреждения самих аппаратов должен быть минимальным;
- ОПН-ы должны быть адаптированы для установки и монтажа на опорах ВЛ;
- повреждение ОПН не должно приводить к длительному отключению линии.

Рис. 6. ИП тороидального типа.

При выборе типа аппарата проектной организацией было отдано предпочтение ОПН с искровым промежутком (ОПН-ЛИ).

Помимо этого заказчиком было выдвинуто требование – обеспечить стабильность характеристик искрового промежутка при отклонениях проводов, возникающих в результате ветровых воздействий. Угол отклонения гирлянды изоляторов от вертикали достигает 40º.

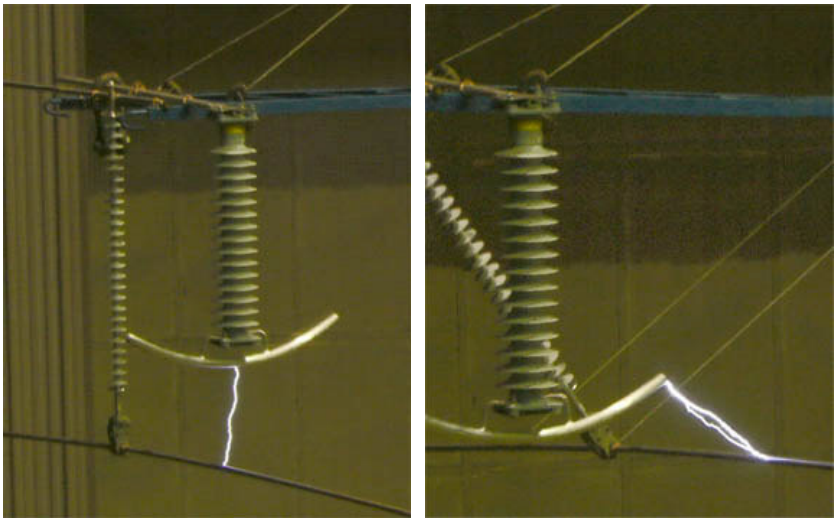
Учитывая совокупность всех требований, выдвинутых к ОПН, нами были разработаны аппараты с двумя типами искровых промежутков. Модули ОПН были выполнены на основе серийных модулей ОПН-110 по согласованным ТУ.

Первый тип аппаратов (ОПН-ЛИр) с внешним искровым промежутком, организованным между электродом в форме рога и проводом, предназначен для установки на поддерживающих опорах. Второй тип аппаратов (ОПН-ЛИт) с внешним искровым промежутком, организованным между электродами тороидального типа, закрепленными на

подвесном полимерном изоляторе (см. рис.5), предназначен для установки на анкерных опорах. Причиной появления второго типа аппаратов стала ненормированность длин шлейфов на анкерных опорах и, вызванная этим, сложность организации искрового промежутка на таких опорах с требуемыми рабочими характеристиками (см. рис.6,б).

Данные аппараты были испытаны во ИЦ ФГУП ВЭИ и в ИЦ высоковольтного электрооборудования Филиала ОАО «НТЦ электроэнергетики СибНИИЭ». На рис. 6, 8(а) приведены фотографии, сделанные в момент проведения испытаний.

Весной 2008 года общей сложностью 1260 защитных аппаратов было установлено на ВЛ « Губкинская-Новогодняя 1,2» с отпайкой на ПС «Вынгаяхинская» и на ВЛ «Контур-Ай-Пимская 1,2».



а) б)

Рис.7 Испытания ОПН-ЛИр:
а) вертикальное расположение поддерживающей гирлянды;
б) отклонение поддерживающей гирлянды от вертикали на 40º.

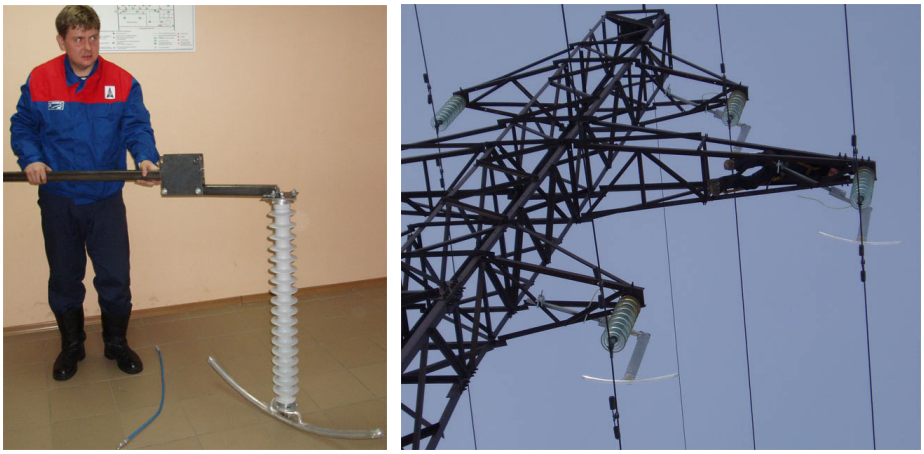


Рис.8 Монтаж ОПН-ЛИр

а) б)

Рис.9 ОПН-ЛИт
а) испытание искрового промежутка; б) монтаж аппарата.

Рис.10 ОПН-ЛИт на анкерных опорах.

ЛИТЕРАТУРА

1.Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. – НИИПТ «Использование подвесных ограничителей перенапряжений для повышения грозоупорности ВЛ» – семинар Электрические сети России-2005.

2.A. Schei et. Al.: Application of Metal oxide Surge Arresters to Overhead Lines – Report of Cigre WG 33.11 Task Force 3, 1997.

3.Kawamura T., Nagano M., Ichihara M., Ishikawa K., Mizoguchi S., Imakoma T., Shimomura T. Development of metal - oxide transmission line arrester and it's effectiveness. - CIGRE, 1994 Session. - Rep.33.201.

4.T. Kawamura and others. Experience and effectiveness of application of arresters to overhead transmission lines.- CIGRE, 1998 Session. - Rep.33.301.

5.Y.Musa, A. J. K. Keri, J.A. Halladay: Application of 800-kV dead tank circuit breaker with transmission line surge arrester to control swithing transient overvoltages; IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 17, No. 4, pp. 957-962, Oct. 2002.

6.R. E. Koch, I. A. Timoshenko, I, G. Anderson, C. H. Shih. Design of Zinc Oxide Transmission Line Arresters for Application on 138 kV Towers, IEEE Trans on Power App. and Syst, vol. 104, № 10, October 1985, pp. 2675-2680.

7.C. H. Shih, R. M. Hayes, D. K. Nochols, R. E. Koch, I. A. Timoshenko, I.G. Anderson. Application of Special Arresters on 138 kV Lines of Appalachion Power Company. IEEE Trans. on Power App. and Syst, vol. 104, № 10, October 1985, pp 2857-2863.

8.Application of metal oxide surge arresters to overhead lines. Working Group 33.11. Task Force 03. A.SCHEI, Convenor of WG 33.11.-Electra (SIGRE). –1999. - №186.

9.J.L.DE Franco, A.C.G.Bezerra, A.D.Andrade. Improvement of the transmission lines lightning performance using line arresters: experience of Brazilian utilities. CIGRE paper A3-102, Paris 2006.

10. B. Demailly, L. Tullus, F. Maciela, S. Tartier. Installation of composite surge arrestors on transmission lines. WG 33.203. Task Force 203, 2002.

11. А.С. Гайворонский. Линейные разрядники радикальное средство грозозащиты ВЛ. Новости электротехники –2006-№2(38).

12. D. Loudon, K. Halsan, U. Jonsson, D. Karlsson. A compact 420 kV line utilizing line surge arresters for areas with low isokeraunic levels. CIGRE paper 22/33/36-08, Paris 1998.

13. S. Gal, E. Kaytar. Improvement of Power Quality and Reliability trough selective installation of line arresters in the Romanian Transmission Network.

14. Steven K.H. Chan. Assessing the Programme to Install Transmission Line Arresters on the CLP Power Network.

15. A. Schnettler, G. Balzer, M. Hudasch, M. Adolfsson. Protection of high voltage equipment by polymer arresters. CIGRE 33-302.1998.