

**МОЛНИЕЗАЩИТА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ**  
**LIGHTNING PROTECTION OF HIGH VOLTAGE LINES**



**УДК 621.316**

**Климов Максим Владимирович**, студент 4 курса, Липецкий государственный технический университет, факультет автоматизации и информатики, кафедра электрооборудования, Россия, г. Липецк

**Научный руководитель: Зацепина Виолетта Иосифовна**, профессор кафедры электрооборудования, доктор технических наук, Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

**Klimov Maxim Vladimirovich**

**Academic Supervisor: Zatsepina Violetta Iosifovna**

**Аннотация.** В статье анализируются особенности молниезащиты высоковольтных линий. Приводятся общая характеристика средств защиты от перенапряжений, задачи и критерии молниезащиты высоковольтных линий. Разбираются методы молниезащиты линий различных классов напряжения и подходов линий электропередачи к подстанции. Рассматриваются существующие устройства и аппараты защиты высоковольтных линий от грозовых перенапряжений, их характеристики, преимущества и недостатки.

**Annotation.** The article analyzes the features of lightning protection of high-voltage lines. General characteristics of overvoltage protection means, tasks and criteria of lightning protection of high-voltage lines are given. The methods of lightning protection of lines of various voltage classes and approaches of power lines to the substation are analyzed. Existing devices and devices for protection of high-voltage lines against lightning overvoltages, their characteristics, advantages and disadvantages are considered.

**Ключевые слова:** молния, молниезащита, высоковольтные линии, подстанция, перенапряжение.

**Key words:** lightning, lightning protection, high-voltage lines, substation, overvoltage.

## **Введение**

Для обеспечения безаварийной работы элементов энергосистем – высоковольтных линий (ВЛ), подстанций (ПС) и электрических машин – необходимо выполнение определённых организационно-технических мероприятий, в число которых входит защита объектов от воздействия грозовых разрядов [1]. Возрастающая актуальность проблемы молниезащиты связана с увеличением количества чувствительных к электромагнитным помехам и импульсам перенапряжений потребителей в электрических сетях. Для безупречной работы молниезащиты ВЛ требуется тщательная проработка и реализация систем внутренней и внешней защиты, поскольку минимальное отклонение в координации этих систем может привести к опасным электромагнитным помехам и перенапряжениям, вызывающим сбой в функционировании оборудования или его поломку. При выборе систем молниезащиты ВЛ применяются рекомендации Правил устройства электроустановок [2].

## **Методы защиты высоковольтных линий**

Меры защиты ВЛ от перенапряжений направлены на получение максимального экономического результата от повышения надёжности функционирования энергосистем и от снижения вызванного перенапряжениями ущерба при минимальных затратах [3]. Меры защиты делят на:

1. Превентивные. Оказывают перманентное воздействие на сеть для предотвращения появления перенапряжений либо снижения их величины. К ним относятся заземление опор на ЛЭП и нейтрали трансформаторов сквозь дугогасящие катушки, ёмкостная изоляционная защита обмоток реакторов и трансформаторов, применение выключателей, не вызывающих значительных перенапряжений, и грозозащитных тросов (грозотросов).

2. Коммутационные. Содержат коммутирующие элементы, такие как искровые промежутки, срабатывающие в случае превышения перенапряжением в месте установки установленной критической величины. В их число входят нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН), вентильные разрядники и шунтирующие реакторы, имеющие искровое присоединение.

При анализе молниезащиты ВЛ необходимо рассмотрение процессов поражаемости разрядами молнии ВЛ, сопровождающихся прорывами молнии на оборудование и ошиновку открытых распределительных устройств и на провода подходов ВЛ и обратными перекрытиями изоляции во время ударов молний в тросы и опоры подходов ВЛ и молниеотводы ПС [4]. Опасность для ВЛ представляют не все удары молнии, поэтому, рассчитывая показатели эффективности молниезащиты, необходимо учитывать вероятность образования опасных перенапряжений на изоляции при указанных событиях.

Надёжность молниезащиты ВЛ обеспечивается следующими мерами [1]:

- подвеска грозотросов, углы защиты которых составляют 20-30°;
- увеличение импульсной изоляционной прочности ВЛ со снижением вероятности установки силовой дуги;
- снижение импульсного сопротивления в процессе заземления опор;
- применение АПВ линий;
- использование дугогасящей катушки или изолированной нейтрали.

На каждые 100 км длины ВЛ ежегодно попадают десятки прямых ударов молнии (ПУМ), при этом основную опасность представляет удар в фазные провода с дальнейшим перекрытием изоляции от образующихся перенапряжений [3]. При ликвидации вызванных грозой замыканий на линии расходуется ресурс функционирования выключателей, а трансформаторы и прочее сетевое оборудование подвергаются термическим и электродинамическим воздействиям токов с коротким замыканием, значительная часть которых сопровождается последующим развитием повреждения, требующего отключения ВЛ на продолжительный период с вероятным нарушением электроснабжения потребителей. В связи с этим выделяют следующие задачи грозозащиты ВЛ:

- защита от обратных перекрытий;
- защита от ПУМ;
- защита от повреждения изоляции;
- защита импульсного перекрытия от трансформации в силовую дугу;
- обеспечение бесперебойности электроснабжения.

Эффективность мероприятий по молниезащите ВЛ определяется по следующим критериям:

- уровень грозоупорности – наибольший расчётный ток в заземлённом объекте, возникающий при ПУМ, при котором не перекрывается изоляция ВЛ;
- кривая опасных токов – взаимосвязь между сочетаниями амплитуды и крутизны тока;
- показатель надёжности молниезащиты – примерная оценка продолжительности безаварийной работы.

На линиях 6-500 кВ нет необходимости применять грозотросы в следующих случаях [1]:

- при напряжении в 110 кВ при наличии деревянных опор;
- при напряжении менее 35 кВ;
- в районах, где ежегодное число грозовых часов составляет менее 20;
- на участках, где удельное сопротивление грунта превышает  $10^3$  Ом·м;
- на участках, где толщина стенки гололёда превышает 20 мм.

При оценке показателя надёжности молниезащиты ВЛ учитывается зависимость перекрытия ВЛ от места удара молнии и законов распределения крутизны и амплитуды токов молнии [3]. Для линий с напряжением более 110 кВ основным молниезащитным мероприятием является подвеска грозотросов, которая малоэффективна для линий 6-35 кВ, что связано с их низкой импульсной изоляционной прочностью. Линии 6-35 кВ, кроме особо ответственных линий 35 кВ на опорах из металла, обычно сооружаются без тросов. Для них в качестве основных грозозащитных мероприятий используются дугогасящие реакторы, АПВ и изолированные нейтрали. Для точечной защиты применяются различные разрядники.

ВЛ напряжением 220 кВ и выше обычно сооружаются на железобетонных либо металлических опорах, а основным средством их молниезащиты выступают тросы, размещаемые над фазными проводами с небольшим углом защиты, подбираемым так, чтобы сократить количество ПУМ на два-три порядка. Для поддержания должного уровня надёжности тросовой защиты на линиях сверхвысокого напряжения применяют тросы, имеющие отрицательные углы защиты. Такие линии часто монтируют на опорах с горизонтально расположенными фазами.

Подходы линий с напряжением 3-20 кВ к ПС не защищаются тросовыми молниеотводами и не оборудуются трубчатыми разрядниками. Требования, предъявляемые к подходам ВЛ большего напряжения, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Требования к подходам линий электропередачи [1]**

U <sub>ном</sub> , кВ	Подходы на порталных опорах			Подходы на одностоечных опорах		
	Длина подхода, км	Число тросов	Защитный угол троса, °	Длина подхода, км	Число тросов	Защитный угол троса, °
35	0,5	2	25-30	1-2	1-2	30
150	1-3	2	25-30	1-3	1-2	25
220	2-3	2	25-30	2-3	1-2	25

### **Устройства и аппараты защиты высоковольтных линий**

Защитные устройства и аппараты предотвращают появление в ВЛ опасных для изоляции импульсов перенапряжений, не препятствуя их работе при рабочем напряжении. Для защиты ВЛ от волн перенапряжения применяются такие устройства, как вентильные разрядники, ограничители перенапряжения, молниеотводы, грозозащитные тросы, контуры заземления распорядительного устройства и заземлители опор ВЛ [5]. Наиболее распространёнными системами защиты ВЛ от ПУМ являются [6]:

1. ОПН. Устанавливаются на ВЛ параллельно гирляндам изоляторов, что защищает их от перенапряжений, приводящих к перекрытию изоляторов. Могут подключаться с искровым промежутком, позволяющим уменьшить габариты и

стоимость устройства, либо без него. Недостатком таких устройств является малая устойчивость к ПУМ. При размещении ОПН на подходе ВЛ к ПС они должны быть рассчитаны на рабочее напряжение, превышающее установленное в ОПН на ПС [7].

2. Длинно-искровые разрядники (РДИ). Осуществляют гашение напряжения посредством искровых промежутков, появляющихся на поверхности при перенапряжении. Такое устройство не разрушается токами молнии, что делает возможным его использование без грозотроса. В линиях выше 35 кВ РДИ используются редко.

3. Изоляторы-разрядники с мультикамерной системой (ИРМК). Это многокамерные разрядники с помещёнными в силикон трубчатыми или стержневыми электродами. При прохождении волны перенапряжения все камеры пробиваются, при этом дуга нагревает ячейку, из которой горячий воздух уводит дугу, увеличивающую длину и через время разрывающуюся [8]. ИРМК взрывобезопасны, не требуют устройств сброса воздуха и применения грозозащитного троса, не подвержены воздействию внешних загрязнений и могут быть изготовлены для ВЛ любого класса напряжения. Недостатками ИРМК являются появляющееся при гашении дуги открытое пламя и сопровождающий ток, проходящий через разрядник вместе с импульсом перенапряжения.

### **Заключение**

Надёжность функционирования электрической сети имеет непосредственную связь с эффективностью молниезащиты её элементов в целом и высоковольтных линий в частности. Для обеспечения качественной молниезащиты необходим комплекс средств защиты, в котором характеристики используемого оборудования и методов скоординированы с характеристиками электрической прочности изоляции и импульсных перенапряжений при грозовых воздействиях.

### **Список литературы**

1. Кабышев А.В. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения: учеб. пособие / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 124 с.

2. Гумерова Н.И. Уточнение рекомендаций по защите высоковольтного оборудования подстанций от грозových волн / Н.И. Гумерова, Б.В. Ефимов, М.В. Малочка // Труды Кольского научного центра РАН. – 2014. – № 3 (22). – С. 5-10.
3. Халилов Ф.Х. Средства защиты от перенапряжений. Молниезащита и электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учеб. пособие / Ф.Х. Халилов. – СПб: Изд-во НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2012. – 71 с.
4. Власко Д.И., Невретдинов Ю.М. Особенности молниезащиты подстанций высоковольтной сети при низкой проводимости грунта // Труды Кольского научного центра РАН. – 2010. – № 1 (1). – С. 46-54.
5. Прохоренко А.В. Анализ грозозащиты высоковольтной подстанции на напряжение 330 кВ: выпуск. квалиф. работа: 13.03.02 / Алексей Владимирович Прохоренко; Томск. нац. исслед. политех. ун-т. – Томск, 2016. – 82 с.
6. Кузьмин С.О. Молниезащита высоковольтных линий / С.О. Кузьмин, С.О. Воробьев, С.Г. Захаренко, Т.Ф. Малахова, С.А. Захаров // Сборник материалов VIII всероссийской, научно-практической конференции молодых учёных с международным участием «Россия молодая». Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва / отв. ред. О.В. Тайлаков. – Кемерово, 2016. – С. 334-337.
7. Ефимов Б.В. Актуальные проблемы защиты высоковольтного оборудования подстанций от грозových волн, набегающих с воздушных линий / Б.В. Ефимов, Ф.Х. Халилов, А.Н. Новикова, Н.И. Гумерова, Ю.М. Невретдинов // Труды Кольского научного центра РАН. – 2012. – № 1 (8). – С. 7-25.
8. Бельский Р.А. Электрическая прочность разрядника для молниезащиты линий 6-35 кВ при грозových перенапряжениях / Р.А. Бельский, В.Я. Фролов, Г.В. Подпоркин // Записки Горного института. – 2018. – Т. 232. – С. 401-406.

### **Bibliography**

1. Kabyshev A.V. Lightning protection of electrical installations of power supply systems: textbook. manual / A.V. Kabyshev. - Tomsk: TPU Publishing House, 2006 .-- 124 p.
2. Gumerova N.I. Refinement of recommendations for the protection of high-voltage substation equipment from thunderstorm waves. Gumerova, B.V. Efimov, M.V. Malochka // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 2014. - No. 3 (22). - S. 5-10.
3. Khalilov F.Kh. Surge protection equipment. Lightning protection and electromagnetic compatibility in the electric power industry: textbook. manual / F.Kh. Khalilov. - SPb: Publishing house of NOU "Center for training energy personnel", 2012. - 71 p.
4. Vlasko DI, Nevretdinov Yu.M. Features of lightning protection of high-voltage network substations at low soil conductivity // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 2010. - No. 1 (1). - S. 46-54.
5. Prokhorenko A.V. Analysis of lightning protection of a high-voltage substation for a voltage of 330 kV: issue. qualif. work: 13.03.02 / Alexey Vladimirovich Prokhorenko; Tomsk. nat. issled. polytechnic. un-t. - Tomsk, 2016 .-- 82 p.
6. Kuzmin S.O. Lightning protection of high-voltage lines / S.O. Kuzmin, S.O. Vorobiev, S.G. Zakharenko, T.F. Malakhova, S.A. Zakharov // Collection of materials of the VIII All-Russian, scientific-practical conference of young scientists with international participation "Young Russia". Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev / otv. ed. O.V. Tailakov. - Kemerovo, 2016 .-- S. 334-337.
7. Efimov B.V. Actual problems of protection of high-voltage equipment of substations from thunderstorm waves oncoming from overhead lines / B.V. Efimov, F.Kh. Khalilov, A.N. Novikova, N.I. Gumerova, Yu.M. Nevretdinov // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 2012. - No. 1 (8). - S. 7-25.
8. Belsky R.A. Electrical strength of the arrester for lightning protection of 6-35 kV lines at lightning overvoltages / R.A. Belsky, V. Ya. Frolov, G.V. Podporkin // Notes of the Mining Institute. - 2018 .-- T. 232 .-- S. 401-406.