

В.А. КОКОС, студент гр. ЭРб-231 (КузГТУ)

Д.А. РЕУТОВ, студент гр. ЭРб-231 (КузГТУ)

Руководитель Т.Ф. МАЛАХОВА, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ОТ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Грозовой разряд – одно из самых разрушительных природных явлений для энергосистем. Его образование начинается в резко неоднородном поле, где возникает стример за счёт образования первичной лавины и который подпитывается уже вторичными образующимися лавинами. При дальнейшей подпитке стримера его канал разогревается настолько, что начинается термоионизация, в результате которой образуется хорошо проводящий канал – лидер. Когда лидер достигает земли, по лидерному каналу от земли начинает распространяться разрядная волна, снижающая потенциал лидера до нуля и затем происходит главный разряд. И самая главная опасность такого явления - возникающие перенапряжения: прямой удар молнии, индуцированные перенапряжения и приход волны с линии – они представляют самую главную опасность для воздушных линий электропередач.

Влияние молний на линию электропередачи зависит от региональной грозовой активности (рисунок 1) [1].

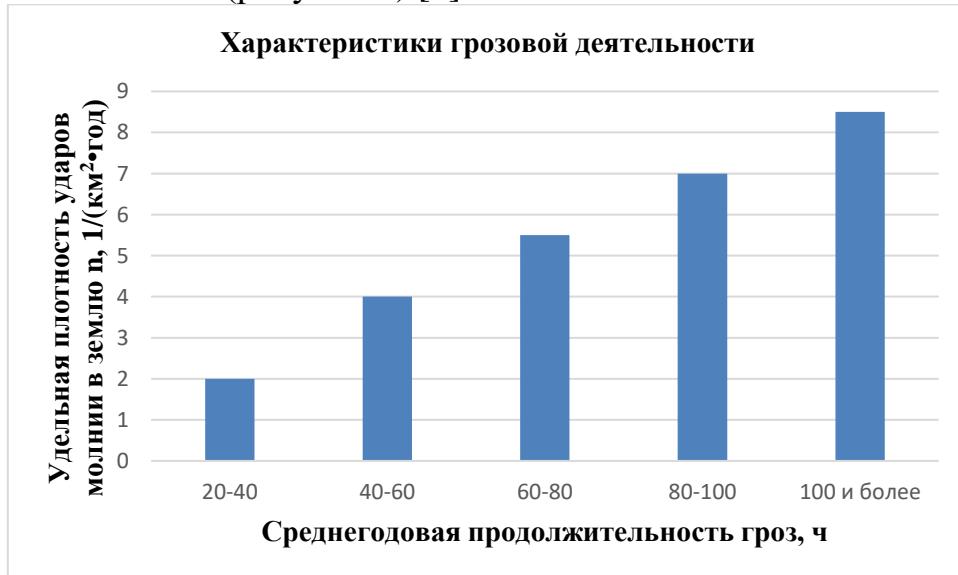


Рис. 1. Гистограмма средней за год продолжительности гроз в часах для территории России

На юге России в основном продолжительность грозы составляет от 40 до 60 часов в год, но и бывают 60–80 ч/год особенно в западной части. Средняя полоса характеризуется 10–20 и 20–40 ч/год, а остальная часть до 10 часов в год. Анализ грозовой активности в регионе необходим ведь это влияет как на выбор способа защиты, так и затраты на её установку.

Способы защиты от грозового разряда строятся на основе двух подходов:

1. Снижение вероятности удара молнии – достигается, например, установкой грозозащитных тросов, формирующих «зону защиты» над фазными проводами.
2. Ограничение перенапряжения, возникающих при ударе или индукции – обеспечивается специализированными устройствами, такими как искровые промежутки, вентильные разрядники и, в первую очередь, нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН).

Рассмотрим способы защиты за счет ограничения перенапряжений [2].

Искровые промежутки (ИП) ранее широко использовались на линиях до 110 кВ и в подвесках тросов. Их задача – направить разряд в обход изоляторов. При промышленной частоте ИП не влияет на работу изоляции, но при импульсных перенапряжениях обеспечивает перекрытие по заданному пути. Однако при индуцированных перенапряжениях на сетях с изолированной нейтралью (6–35 кВ) срабатывание релейной защиты затруднено, что делает ИП недостаточно надёжными.

Вентильные разрядники (РВ) это сочетание ИП и нелинейного сопротивления в изоляционном корпусе. Хотя они эффективны на подстанциях, их применение на ВЛ ограничено из-за большого разброса напряжений срабатывания, хрупкости фарфора и высокой трудоёмкости производства. Большинство РВ уже выработало ресурс и выводится из эксплуатации.

Нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) в полной мере заменяют РВ на ИП как более стабильные, надежные защитные аппараты. В последние годы получило определенное распространение применение ОПН на ВЛ в качестве линейных разрядников. ЛР могут выполняться как с искровыми промежутками, так и без них.

Молниезащитные разрядники (РМЗ) – предназначены для защиты изоляции ВЛ путём создания альтернативного пути разряда и обеспечения гашения сопровождающего тока.

Другой способ защиты – использование грозозащитных тросов. Он монтируется над фазными проводами и заземляется на каждой опоре или через определённое число опор, формируя так называемую «зону защиты». При попадании молнии в трос разрядный ток стекает в землю, минуя изо-

ляцию и провода, что предотвращает пробой изоляторов и аварийные отключения.

Основное преимущество тросовой защиты – её пассивность, простота и долговечность. Трос не требует обслуживания, не содержит чувствительных элементов и эффективно защищает протяжённые участки ВЛ.

На рисунках 2 и 3 показаны доли ударов молнии в различные части ВЛ.

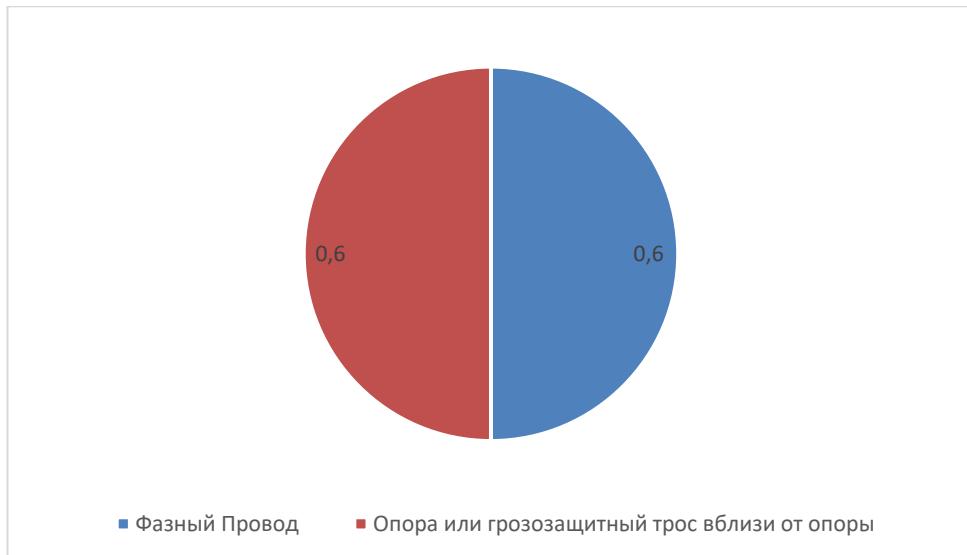


Рис. 2. Доля ударов молнии в различные части ВЛ. Грозозащитного троса нет



Рис. 3. Доля ударов молнии в различные части ВЛ. Грозозащитный трос есть

Как видим, при отсутствии грозозащитного троса частота ударов в фазный провод составляет 0,6. Это достаточно много и из-за этого может возникнуть опасные перенапряжения, что может привести к пробою. Но,

при наличии грозозащитного троса доля ударов снижается до 0,006, что наглядно показывает, насколько эффективна ВЛ с тросом или без него.

Лучшими способами защиты являются использование сразу двух подходов защиты. Один позволяет снизить вероятность удара в уязвимые элементы ВЛ, а другой, если молния все же смогла достигнуть ВЛ, то за счет ограничителей перенапряжений мы снижаем её разрушающие воздействие

Однако, не каждая защита эффективно действует в зависимости от номинального напряжения воздушной линии. Особенности применения ОПН и грозозащитных тросов на основных классах напряжения, эксплуатируемых в распределительных сетях России [3] приведены ниже.

На линиях высокого и сверхвысокого напряжения (110-500 кВ) грозозащитный трос является обязательным элементом конструкции согласно ПУЭ. Однако даже при наличии троса возможны обратные перекрытия, особенно при высоком сопротивлении заземления. Поэтому на особо ответственных участках (подходы к подстанциям, переходы через реки, горные районы) дополнительно устанавливаются ОПН, что позволяет снизить остаточное напряжение на изоляции и исключить пробои.

На ВЛ 35 кВ представляет собой «серую зону», где применение троса не всегда экономически оправдано. Он устанавливается только на участках с высокой грозовой активностью (более 40 ч/год) или при высокой ответственности потребителей. В таких условиях линейные ОПН становятся более рациональным решением.

На ВЛ 6–10 кВ грозозащитный трос практически не применяется из-за низкой высоты опор и стоимость троса. Здесь наиболее эффективны молниезащитные разрядники (РМЗ) и ОПН без искрового промежутка.

Таким образом, грозозащитный трос целесообразен на ВЛ 110 кВ и выше, где он обеспечивает базовую защиту от прямых ударов. На ВЛ 35 кВ и ниже предпочтение следует отдавать точечной защите с помощью ОПН или РМЗ, особенно в регионах с умеренной грозовой активностью, таких как Кемеровская область. Такой подход сочетает высокую эффективность, экономическую целесообразность и адаптацию к местным условиям эксплуатации.

Что касается будущего, то развитие защиты пойдет по пути интеллектуализации и прогнозирования. Уже сегодня видны перспективные направления, которые смогут снизить уровень перенапряжений на ВЛ до минимума:

- Активные системы молниезащиты. Это технологии, которые не ждут удара, а упреджают его. Генерируя восходящий лидер, такие системы смогут перехватывать молнию и принудительно направлять ее в заранее подготовленное заземленное русло, фактически полностью исключая прямые попадания в фазные провода.

- Интеграция в "Умные сети". Это самый комплексный и многообещающий подход. Используя данные метеорадаров, датчиков поля и искусственный интеллект, система сможет не просто защищаться, а прогнозировать грозовую угрозу. Это позволит в реальном времени перестраивать конфигурацию сети: автоматически подключать резервные линии, временно отключать самые уязвимые участки для планового "приема удара" и дистанционно переводить защитные устройства в режим повышенной готовности.

Список литературы:

1. Официальный сайт «Электротехнический интернет-портал». Характеристики интенсивности грозовой деятельности и грозопоражаемости зданий и сооружений. URL: https://www.elec.ru/library/direction/rd_34_21_122-87/pril-2.html?ysclid=mh730tfcsu350827241 (дата обращения: 15.10.2025).
2. Кабышев, А.В. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения [Текст] / А.В. Кабышев. – Томск: ТПУ, 2006. – 123 с.
3. Официальный сайт «Стример». Методические рекомендации по применению молниезащитных разрядников на воздушных линиях электропередач. URL: https://www.streamer.ru/upload/docs/metod_recom_pages.pdf?ysclid=mgs3gg214b810198892 (дата обращения: 19.10.2025).

Информация об авторах:

Кокос Владислав Александрович, студент гр. ЭРБ-231, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, v.kokos2018@yandex.com

Реутов Дмитрий Андреевич, студент гр. ЭРБ-231, КузГТУ, ул. Весенняя, д. 28, г. Кемерово, 650000, Россия, dima.reutov.04@bk.ru

Малахова Татьяна Федоровна, к.т.н. доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, dtl.egpp@kuzstu.ru