

ISSN 1814-5787

ҚАЗАҚ
ҚАТЫНАС
ЖОЛДАРЫ
УНИВЕРСИТЕТІ



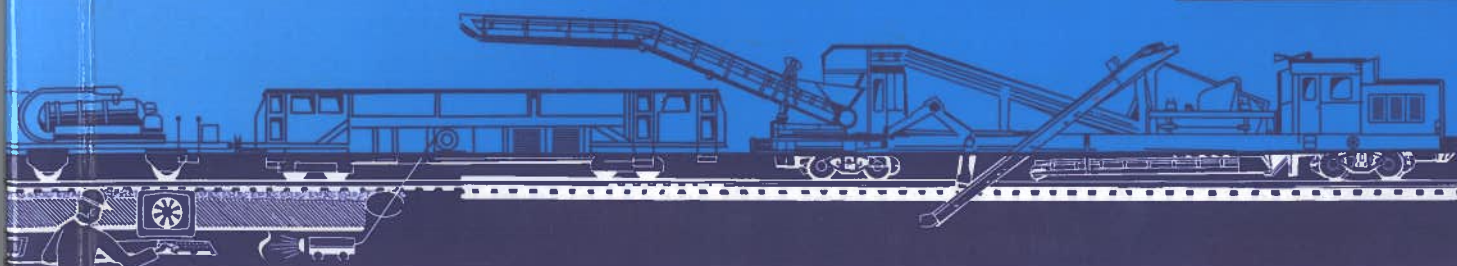
КАЗАХСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ

ҚАЗАҚСТАН ӨНДІРІС КӨЛІГІ

2013 № 1 (38)



ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ КАЗАХСТАНА



Приведенные выражения являются расчетными, устанавливающей функциональную связь $P_{сб} = f(m_{x_{пз}}, \sigma_{x_{пз}}, \lambda)$. Если λ и $\sigma_{x_{пз}}$ известны из эксперимента, а величина $P_{сб}$ задана, то $m_{x_{пз}}$ однозначно определяется из приведенных выражений.

Приведенные две наиболее вероятные в проблеме ЭМС композиции распределений $\alpha(x_{пз})$ и $\beta(x_{пз})$ показывают, что с помощью этих формул можно получить выражение $P_{сб}$ для любых сочетаний статистических моделей случайных величин $x_{пз}$ и $x_{пэ}$ [2].

Список литературы

1. Бочарников Ю.В. Комплексный метод расчета токов и напряжений, возникающих в рельсе под воздействием электромагнитного и гальванического влияния тяговых токов // Сборник трудов Уральского государственного университета путей сообщения «Совершенствование схем устройств электроснабжения транспорта и проектирование их конструкций», Выпуск 48 (131), 2005. – С. 42-51
2. Kneschke T., Mbika P. Determination of Traction Power Distribution System Impedance and Susceptances for AC Railroad Electrification Systems // Proceedings of the 2004 ASME/IEEE Joint Rail Conference April 6-8, 2004, Baltimore, Maryland, USA, pp 27-34.

УДК 621.316.3.027

Кангожин Б.Р. – д.т.н., профессор КУПС (Алматы)

Даутов С.С. – инженер КУПС (Алматы)

Жанабаева Н.О. – инженер КУПС (Алматы)

Калашов Д.Х. – инженер КУПС (Алматы)

ГРОЗОУПОРНОСТЬ ВЛ-220КВ «ЦГПП-ОСАКАРОВКА»

В работе рассмотрена грозоупорность характерной ЛЭП высокого напряжения с большим сроком эксплуатации. Проведены расчёты её отключений при ударах молнии в трос, опору и в середину пролета. Показана необходимость принятия мер по повышению грозоупорности ВЛ при её реабилитации.

Ключевые слова: молния, грозоупорность, ВЛ 220 кВ, опора, трос, пролёт.

В настоящее время срок эксплуатации большинства линий электропередач высокого напряжения превысил 40-50 лет. Проведение их реабилитации позволяет повысить технико-экономические показатели, в том числе грозоупорность ВЛ. К примеру, характерная воздушная ЛЭП-220 кВ «ЦГПП-Осакаровка» была построена в 1962-63 годах, протяженность линии составляет 117,7 км, на ней установлены металлические опоры преимущественно типа П-26 и провода – АС-300/39, средняя длина пролета 400м. Район климатических условий по ветру IV, по гололеду II, среднегодовая температура воздуха – 0°С. Трасса рассматриваемой ВЛ-220 кВ проходит по территории, где среднегодовое количество дней с грозами равно 23,3 [1]. На ВЛ-220 «ЦГПП-Осакаровка», защищенной тросом, возможны грозовые отключения от ударов в опору, трос и прорыва молнии на провода.

Показателями грозоупорности ВЛ является число ее грозовых отключений: удельное число грозовых отключений рассчитанное на 100 км и 100 грозовых часов в год, удельное число грозовых отключений на 100 км и один год эксплуатации и абсолютное число грозовых отключений, рассчитанное на фактическую длину ВЛ и фактическую интенсивность грозовой деятельности. Основными природно-климатическими характеристиками, влияющими на показатели грозоупорности ВЛ, являются интенсивность грозовой дея-

тельности, статистическое распределение амплитуды тока молнии и электрофизические характеристики грунтов в районе прохождения трассы ВЛ.

Определение характеристик грозопоражаемости ВЛ производилось путем компьютерного моделирования, а именно расчет общего числа ударов молнии в линию. Расчет числа грозовых отключений производился для следующих исходных данных: опора двухцепная типа П26, число грозовых часов $N_{час} = 41$.

Научные основы расчета числа отключений ВЛ на металлических опорах были разработаны Д.В. Разевигом (2). Согласно рекомендациям [3] функции распределения амплитуд токов молнии и их крутизны описываются логнормальным законом распределения. Для амплитуд вероятность того, что ток молнии превышает значение I равна:

$$P_I = 1 - \frac{\lg e}{\sigma_{\lg I} \sqrt{2\pi}} \int_{I_{\min}}^I \frac{1}{i} \exp[-0,5(\frac{\lg I - \lg \bar{I}}{\sigma_{\lg I}})^2] di, \quad (1)$$

где при высоте опоры $h_{оп} > 20$ м $\bar{I} = 20 + 0,32(h_{оп} - 20)$ кА – среднее значение тока молнии, $\sigma_{\lg I} = 0,39 - 0,0028(h_{оп} - 20)$ – логарифмический стандарт отклонения.

Вероятность крутизны тока молнии на фронте, превышающая значение A (кА/мкс) равняется:

$$P_A = 1 - \frac{\lg e}{\sigma_{\lg A} \sqrt{2\pi}} \int_{A_{\min}}^A \frac{1}{a} \exp[-0,5(\frac{\lg a - \lg \bar{a}}{\sigma_{\lg A}})^2] da, \quad (2)$$

где $\bar{A} = 10,8$ кА/мкс – среднее значение крутизны, $\sigma_{\lg A} = 0,265$ – логарифмический стандарт отклонения для крутизны тока. Полученные для опоры высотой 40,8 м (опора типа П26) распределения весьма близки к распределению, рекомендованному СИГРЕ. Согласно рекомендациям [3] расчеты числа грозовых отключений производились для косоугольной волны тока с длительностью фронта от 1 до 10 мкс. В схемах замещения молния рассматривается как источник тока. Амплитуда тока молнии и крутизна тока на фронте рассматриваются как статистические независимые величины.

Общее число отключений ВЛ складывается из отключений при разряде в опору $n_{оп}$, разрядов в трос $n_{тр}$ и прорывов молнии сквозь тросовую защиту $n_{пр}$.

Число разрядов молнии в линию на 100 км линии при ста грозовых часах для опор с одним тросом при высоте опоры более 30 м в целом равно

$$N = 0,15 p_0 (h_{ср} + 90), \quad (3)$$

где $p_0 = 0,05 N_{гч}$ – число разрядов в км² за один грозовой сезон, $N_{гч}$ – число часов с грозой, для рассчитываемого случая $p_0 = 2,05$ разряда в год в 1 км²; $h_{ср}$ – средняя высота подвеса троса.

Число разрядов в опору определяется по эмпирической формуле

$$N_{оп} = 4N \frac{h_{тр}}{l_{прол}}, \quad (4)$$

где $l_{прол} = 400$ м – средняя длина пролета.

$N_{пр}$ – число прорывов молнии сквозь тросовую защиту на 100 км линии:

$$N_{пр} = N P_{\alpha}, \quad (5)$$

где P_{α} – вероятность прорыва молнии на провода.

Число разрядов в трос определяется как

$$N_{тр} = N - N_{оп} - N_{пр}. \quad (6)$$

Ожидаемое удельное число грозовых отключений от обратных перекрытий линейной изоляции при ударах молнии в опору определяется по формуле

$$n_{оп} = N_{оп} P_{оп} \eta, \quad (7)$$

где $P_{оп}$ – вероятность обратного перекрытия гирлянды, η – коэффициент перехода импульсного перекрытия в дугу тока промышленной частоты, определяется по формуле

$$\eta = \left(0,92 \frac{U}{l_{\text{разр}}} - 6 \right) \cdot 10^{-2}, \quad (8)$$

в которой $l_{\text{разр}}$ - длина разрядного пути по гирлянде изоляторов, м; U - наибольшее длительно допустимое рабочее (линейное) напряжение, кВ [3, табл. П13.1].

$P_{\text{оп}}$ - вероятность перекрытия линейной изоляции, определяется интегрированием области опасных параметров амплитуды и крутизны тока молнии. Перекрытие возникает при условии, когда сумма импульсного и рабочего напряжения провода достигает разрядного напряжения линейной изоляции, определяемого вольт-секундной характеристикой для разрядов на фронте импульса перенапряжений, т.е. когда

$$U_{\text{имп}}(t) + u_p(\varphi) \geq U_{\text{разр}}^+(t). \quad (9)$$

При ударе молнии в опору импульсное напряжение на линейной изоляции состоит из следующих составляющих:

- составляющая, вызванная падением напряжения на сопротивлении заземления опоры

$$U_R(t) = i_{\text{оп}} R, \quad (10)$$

где $i_{\text{оп}}$ - ток через опору, кА; R - сопротивление заземления опоры, Ом;

- магнитная составляющая индуктированного напряжения, которая создается током в опоре и током в канале молнии

$$U_{\text{ин.м}}(t) = L_{\text{оп}}^{\text{ип}} \frac{di_{\text{оп}}}{dt} + a M^{\text{ип}}(t), \quad (11)$$

где a - крутизна тока молнии, кА/мкс; $L_{\text{оп}}^{\text{ип}}$ - индуктивность опоры до точки подвеса провода,

$M^{\text{ип}}(t)$ - взаимная индуктивность между каналом молнии и петлей провод-земля, мкГн. В работе была определена зависимость взаимной индукции между каналом молнии и петлей провод – земля (мкГн) от времени (мкс) для опоры П26.

Электрическая составляющая индуктированного напряжения

$$U_{\text{ин.э}}(t) = a \frac{0,1h_{\text{ип}}}{\beta} \left(1 - k_k \frac{h_{\text{тр}}}{h_{\text{ип}}} \right) \ln \frac{(vt + h_{\text{тр}}) \sqrt{(vt + H)(vt + \Delta h)}}{(1 + \beta)^2 h_{\text{тр}} \sqrt{\Delta h \cdot H}}, \quad (12)$$

где k_k - коэффициент связи провода с коронирующим тросом.

Напряжение, индуктированное на проводе током в тросе

$$U_{\text{ин.тр}}(t) = k_k \left(i_{\text{оп}} R + L_{\text{оп}}^{\text{тр}} \frac{di_{\text{оп}}}{dt} + a M^{\text{тр}}(t) \right), \quad (13)$$

где $L_{\text{оп}}^{\text{тр}}$ - индуктивность троса до точки подвеса троса, мкГн; $M^{\text{тр}}(t)$ - взаимная индуктивность между каналом молнии и петлей трос-земля, мкГн.

Суммарное напряжение на линейной изоляции при ударе молнии в опору с учетом рабочего напряжения линии составляет

$$U_{\text{из}}(t) = U_{\text{имп}}(t) + u_p(\varphi) = U_R(t) + U_{\text{ин.м}}(t) + U_{\text{ин.э}}(t) - U_{\text{ин.тр}}(t) + u_p(\varphi). \quad (14)$$

Волновой процесс рассчитывается по схеме, приведённой на рисунке 1, где вместо нагрузки в виде половины волнового сопротивления троса или схемы с индуктивностью троса использовать одну схему с распределенными параметрами, а расчет провести при помощи программы Atpdraw.

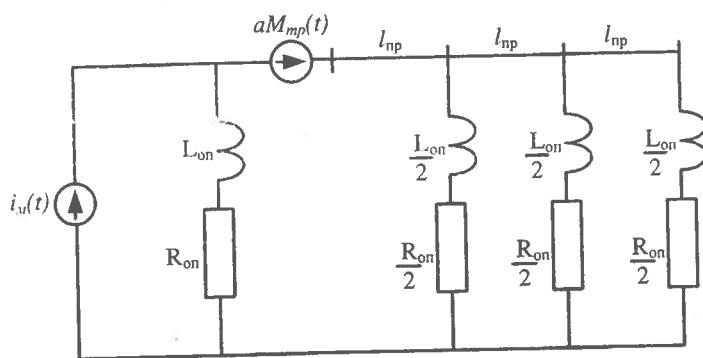


Рисунок 1 - Схема замещения для расчета токов в опоре и тресе при ударе молнии в опору

Схема замещения рисунок 1 содержит три участка линии с распределенными параметрами и волновым сопротивлением, равным половине сопротивления троса. Нагрузками линии являются индуктивность опоры и сопротивление ее заземления. Так как опора находится «в середине» между двумя другими, то все параметры делятся на два.

Источник тока – косоугольной формы, что предусмотрено возможностями программы. Источник $aM_{mp}(t)$ - в виде источника постоянного напряжения длительностью равной длине фронта. Учет зависимости индуктивности $M_{mp}(t)$ достигается тем, что при проведении каждого расчета устанавливается соответствующее значение взаимной индуктивности от времени по результатам проведенных расчетов.

Программа Atpdraw позволяет строить схему замещения с практически любым количеством пролетов, однако расчеты показывают, что учет трех пролетов более чем достаточен, а результаты очень слабо отличаются от подобной схемы замещения с одним пролетом. Отметим, что для программы Atpdraw приведенная задача является очень простой, счет занимает доли секунды, что позволяет легко просчитывать разные варианты.

Отключение ВЛ при грозовом поражении в середине пролета возможно из-за перекрытия изоляции на опорах, ограничивающий пораженный пролет, так как выбор воздушного промежутка трос-провод в соответствии с требованиями ПУЭ исключает его перекрытия при ударах молнии в середину пролета. Ожидаемое удельное число грозовых отключений ВЛ из-за ударов молнии в трос в середине пролета рассчитывается по формуле

$$n_{тр} = N_{тр} P_{тр} \eta, \tag{15}$$

где $N_{тр}$ - число ударов молнии в трос в середине пролета на 100 км линии:

$$N_{тр} = N - N_{оп} - N_{пр}, \tag{16}$$

η - рассчитывается по формуле (9); $P_{тр}$ - вероятность перекрытия изоляции при ударе молнии в трос в середине пролета рассчитывается по алгоритму, аналогичному расчету $P_{оп}$.

Импульсное напряжение на гирляндах складывается из следующих составляющих:

- составляющая, вызванная падением напряжения на сопротивлении заземления опоры

$$U_R(t) = i_{оп} R, \tag{17}$$

где $i_{оп}$ - ток через опору, кА; R - сопротивление заземления опоры, Ом;

- магнитная составляющая индуктированного напряжения, которая создается током в опоре

$$U_{ин.м}(t) = \frac{di_{оп}}{dt} L_{оп}^{нр}, \tag{18}$$

где $L_{оп}^{нр}$ - индуктивность опоры до точки подвеса провода, мкГн;

- напряжение, индуктированное на проводе током в тресе

$U_{ин.т}$
где k'_k - ко
до точки 1
Сум
пролета с
 $U_{из}(t)$
Необ
ванием ра

Удел
рассчитыв
 $n_{пр} =$
где $P_{кр}$ - 1
нии в про
 $N_{пр} =$
где $R\alpha$ - ве
Расч
длительнос
по формул

$U_{50}^+(t)$

где τ_ϕ - дл
импульса
Для
которой п
Верс
ся при по
для каждо
Поли
площадь г

$P_{пол}$

Обш
разрядов 1

$$U_{ин.тр}(t) = k'_k \left(U_R(t) + \frac{L_{оп}^{тр}}{I_{оп}^{тр}} U_{ин.м}(t) \right), \quad (19)$$

где k'_k - коэффициент связи провода с коронирующим тросом; $L_{оп}^{тр}$ - индуктивность опоры до точки подвеса троса, мкГн.

Суммарное напряжение на линейной изоляции при ударе молнии в трос в середине пролета с учетом рабочего напряжения линии

$$U_{из}(t) = U_{имп}(t) + u_p(\varphi) = U_R(t) + U_{ин.м}(t) - U_{ин.тр}(t) + u_p(\varphi). \quad (20)$$

Необходимый для определения $U_{имп}(t)$ ток через опору рассчитывается с использованием расчетной схемы замещения (рисунок 2).

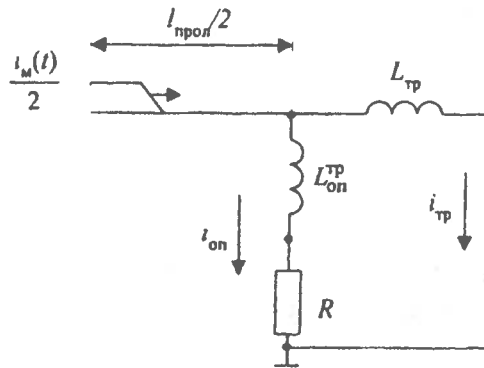


Рисунок 2 - Расчетная схема замещения

Удельное число отключений от прорыва молнии через тросовую защиту на провода рассчитывается по формуле

$$n_{пр} = N_{пр} P_{i_{кр}} \eta, \quad (21)$$

где $P_{i_{кр}}$ - вероятность значений тока молнии, превышающих критическое для удара молнии в провод; $N_{пр}$ - число прорывов молнии на 100 км линии:

$$N_{пр} = N P_{\alpha}, \quad (22)$$

где P_{α} - вероятность прорыва молнии сквозь тросовую защиту (см. формулу (7)).

Расчет 50%-ного разрядного напряжения для импульса положительной полярности с длительностью фронта более длительности фронта стандартного импульса производился по формуле

$$U_{50}^+(\tau_{\phi}) = U_{50}^+ \left(0,45 + \frac{9}{\tau_{\phi}^{0,9} + 15} \right), \text{ кВ} \quad (23)$$

где τ_{ϕ} - длительность фронта, мкс; U_{50}^+ - 50%-ное разрядное напряжение для стандартного импульса положительной полярности, кВ.

Для расчетов было принято, что длина гирлянды по всей длине ВЛ равна 2 м, для которой пятидесятипроцентное напряжение перекрытия составляет 1150 кВ.

Вероятность отключения в результате ударов молнии в опору и в трос рассчитывается при помощи так называемой кривой опасных параметров, которая строится отдельно для каждого из этих случаев.

Полная вероятность перекрытий при разрядах в опору и в трос определяется как площадь под кривой опасных параметров или

$$P_{полн} = \int_0^1 P_A dP_I = \int_0^1 P_I dP_A \quad (24)$$

Общее число отключений складывается из отключений при разрядах в опору $n_{оп}$, разрядов в трос и прорывов в провод.

Расчет вероятности перекрытия изоляции производился с учетом влияния рабочего напряжения.

Рассматриваемая ВЛ проходит в местности с числом часов грозы, равным 41. Удельное число разрядов в один квадратный километр площади земли за грозовой сезон составило: $\rho_0 = 0,05N_{\text{г}} = 2,05$ разрядов за сезон/км².

Число разрядов на 100 км ВЛ за грозовой сезон: $N_{\text{ВЛ}} = 0,15 \cdot 2,05 \cdot (34,13 + 90) = 38,2$ разряда.

Число разрядов на 100 км ВЛ за 100 грозовых часов: $N = 2 \cdot 38,2 \cdot 50 / 41 = 93,2$ разряда.

Число разрядов в опору: $N_{\text{оп}} = 4 \cdot 93,2 \cdot 38,1 / 400 = 35,51 \approx 36$ разрядов.

Число прорывов молнии сквозь тросовую защиту по результатам расчета с использованием [3] для верхнего провода: $N_{\text{пр}} = 93,2 \cdot 0,0013 = 0,12$. Общее число прорывов молнии менее одного на 100 км линии за 100 часов грозы и в дальнейшем эта причина грозных отключений может не учитываться.

Число разрядов в трос на 100 км ВЛ за 100 грозовых часов: $N_{\text{тр}} = 93 - 36 = 57$ разрядов.

Расчеты вероятности грозных отключений проводились с усреднением по периоду рабочего напряжения и по числу проводов в каждой цепи.

В целях эксплуатации обычно ставится задача уменьшить число грозных отключений до двух на 100 км линии при 100 грозовых часах или в пересчете на всю линию при 41 грозовых часах – до $0,96 \approx 1$ отключения. При таких малых значениях числа отключений невозможно не говорить о точности расчетов числа грозных отключений.

Методика расчетов основывается на использовании целого ряда параметров, носящих статистический характер. В первую очередь это число часов с грозой. По этому параметру вычисляется общее число ударов молнии в линию и, в конечном счете, общее число отключений. Хотя число грозных часов определяется по данным многолетних наблюдений оно подвержено достаточно большому разбросу от года к году. Кроме того в [3] имеется ряд допущений (например, допущение о том, что канал главного разряда молнии является вертикальным и прямым и т.п.), погрешность которых на современном этапе изучения молнии оценить невозможно. Также допущением является оценка электрической прочности гирлянды изоляторов, основанная на результатах измерений при воздействии стандартного испытательного импульса напряжения. Погрешности расчета (или возможный разброс числа отключений) оценкам не поддаются. Практика показывает, что разброс числа отключений может быть весьма большим.

Выполненные расчеты числа грозных отключений для характерной ВЛ 220 кВ, подлежащей реабилитации показали высокое расчетное число грозных отключений (более 20 в год). Необходимо предусмотреть мероприятия по повышению грозоупорности подобных ВЛ 220 при их реабилитации: ремонт гирлянд с целью увеличения импульсной прочности линейной изоляции, реконструкция ЗУ опор и применение ОПН для защиты от грозных перенапряжений.

Список литературы

1. СН РК 2.04-29-2005 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений
2. Разевиг Д.В. Атмосферные перенапряжения на линиях электропередачи. М.: Энергоиздат, 1959.
3. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений. РД 153-34.3-35.125-99.