

И.В. НИЖЕВСКИЙ, инженер, СКБ «Электрощит», Харьков;
В.И. НИЖЕВСКИЙ, канд. техн. наук., доц., НТУ "ХПИ";
Д.Г. КИСЕЛЕВ, студент, НТУ "ХПИ"

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ГРОЗОВОЙ СЕЗОН ПРИ ОТСУТСТВИИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ НА ОТДЕЛЬНЫХ ЕЕ УЧАСТКАХ

Запропонований новий підхід до оцінки можливості роботи повітряної лінії електропередачі при частковій відсутності грозозахисного троса. Застосування цього підходу показано на прикладі повітряної лінії 330 кВ. Отримані результати дозволяють отримати істотний економічний ефект при їх впровадженні в електричних мережах.

Предложен новый подход к оценке возможности работы воздушной линии электропередачи при частичном отсутствии грозозащитного троса. Применение этого подхода показано на примере воздушной линии 330 кВ. Полученные результаты позволяют получить существенный экономический эффект при их внедрении в электрических сетях.

The new going is offered near the estimation of possibility of work of air-track of electricity transmission at partial absence of lightning-saving rope. Application of this approach is rotined on the example of air-track of 330 kV. The got results allow to get a substantial economic effect at their introduction in electric networks.

У природи нет плохой погоды. Однако энергетики, эксплуатирующие воздушные линии (ВЛ) электропередачи, не могут с этим согласиться. Дело в том, что природа преподносит им «сюрпризы» в виде обильных снегопадов, обледенения проводов и опор, сильных (порою штормовых) ветров, ураганов, землетрясений и т. д. Такие «сюрпризы» зачастую приводят к обрыву проводов и грозозащитных тросов на ВЛ. При этом всегда требуется срочное восстановление нормальной работы ВЛ. Однако, если фазные провода ВЛ необходимо восстановить немедленно, то грозозащитные тросы, оборванные на некоторых пролетах, могут восстанавливать позже, или не восстанавливать вообще. Обоснование возможности такого подхода предлагается в данной работе и заключается в следующем.

На основании литературных источников [1 - 3] удельное число грозовых отключений линий с тросами вычисляется в общем случае по формуле

$$n_{откл} = 4 \cdot h_{np} \left\{ P_{\alpha} \cdot P_{np} \cdot \eta_1 + (1 - P_{\alpha}) \times \left[\frac{4 \cdot h_{on}}{l} \cdot P_{np} \cdot \eta_1 + \left(1 - \frac{4 \cdot h_{on}}{l} \right) \cdot P_{np} \cdot \eta_2 \right] \right\},$$

где $h_{тр}$ - средняя высота подвеса тросов; $h_{оп}$ - высота опоры; P_{α} - вероятность поражения провода, т.е. прорыва молнии через тросовую защиту; $P_{пр}$ - вероятность перекрытия линейной изоляции на опоре при ударе молнии в провод; $P_{он}$ - вероятность перекрытия изоляции при ударе молнии в опору; $P_{тр}$ - вероятность пробоя промежутка трос-провод при ударе молнии в трос в середине пролета; η_1 - вероятность образования устойчивой дуги при перекрытии изоляции опоры; η_2 - то же при пробое воздушной изоляции в пролете.

Вероятность прорыва молнии через тросовую защиту принято определять в соответствии с опытом эксплуатации по эмпирической формуле

$$\lg P_{\alpha} = \frac{\alpha \sqrt{h_{on}}}{90} - 4,$$

где α - угол защиты, образованный вертикалью, проходящей через трос, и прямой, соединяющей трос с проводом, и характеризующий экранирующее действие тросов.

Вероятность перекрытия линейной изоляции $P_{пр}$ на опоре рассчитывается по критическому значению тока молнии. Критический ток молнии $I_{кр}$ определяется из условий равенства воздействующего напряжения U и импульсного разрядного напряжения $U_{50\%}$ по формулам:

для ВЛ на металлических и железобетонных опорах

$$I_{кр} = \frac{2U_{50\%}}{Z}$$

для ВЛ на деревянных опорах

$$I_{кр} = \frac{2U_{50\%}}{Z(1-k)},$$

где Z - волновое сопротивление провода, которое в среднем, с учетом импульсной короны, может быть принято равным 300 Ом; k - коэффициент связи между проводами с учетом импульсной короны, имеющий значения 0,25...0,4.

Упрощенно вероятность перекрытия изоляции при ударе молнии в опору можно определить по значению критического тока

$$I_{кр} = \frac{U_{50\%}}{R_n + \delta \cdot h_{on}},$$

где $R_{и}$ - импульсное сопротивление заземления опоры; $\delta=0,15$ – для линий с двумя тросами; $\delta=0,3$ – для линий с одним тросом.

Вероятность пробоя промежутка трос–провод при ударе молнии в трос в середине пролета определяется следующим образом. Рассчитывается напряжение между тросом и проводом с учетом индуктированного на проводе напряжения по формуле

$$U_{mp-np} = (1-k) \cdot a \cdot Z_{mp} \cdot l/2v,$$

где a - крутизна фронта импульса тока молнии; $Z_{тр}$ - волновое сопротивление троса; l - длина пролета; v - скорость распространения импульса.

На основании полученного напряжения определяется вероятность пробоя промежутка трос–провод при ударе молнии в трос в середине пролета по формуле

$$P_{mp} = \exp(-0.08a).$$

В инженерных расчетах принято оценивать вероятность перехода импульсного перекрытия в устойчивую дугу по средней напряженности вдоль пути перекрытия при наибольшем рабочем напряжении $E_{cp} = U_{наиб.раб.} / l_{пер}$.

Для линий на деревянных опорах и длинных воздушных промежутков вероятность возникновения устойчивой дуги η определяется по формуле

$$\eta = (1,6 \cdot E_{cp} - 6) \cdot 10^{-2}.$$

Используя приведенный алгоритм, проведем исследование грозоупорности ВЛ 330 кВ.

Линия электропередачи на порталных железобетонных опорах общей протяженностью 343 км была исследована на грозоупорность, как при наличии двух грозозащитных тросов по всей длине, так и при их полном или частичном отсутствии. При этом дискретно изменялось импульсное сопротивление $R_{и}$ заземляющих устройств опор в пределах от 5 Ом до 30 Ом.

Исходно были выполнены массовые расчёты удельного числа отключений линии n на 100 км и 100 грозовых часов в год при импульсной прочности гирлянды изоляторов $U_p=2000$ кВ. В итоге получены следующие результаты для трёх случаев:

а) удар молнии в опоры и грозозащитные тросы при вариации $R_{и}$

Таблица 1 – Удельное число отключений ВЛ 330 кВ

$R_{и}, \text{Ом}$	5	10	15	20	30
$n_{т.оп.}$	0,014	0,055	0,12	0,2	0,4

б) удар молнии в провод, т.е. прорыв молнии на провод мимо грозозащитных тросов, $n_{пр}=0,4$;

в) удар молнии в линию при отсутствии грозозащитных тросов $n_{б/тр}=35$.

Если импульсная прочность гирлянды будет уменьшаться, удельное число отключений для приведённых выше случаев, будет увеличиваться и наоборот.

Результаты массовых расчётов представлены на рис. 1 в виде зависимостей числа грозовых отключений N ВЛ от длины линии L при различных значениях импульсных сопротивлений $R_{и}$ заземляющих устройств опор.

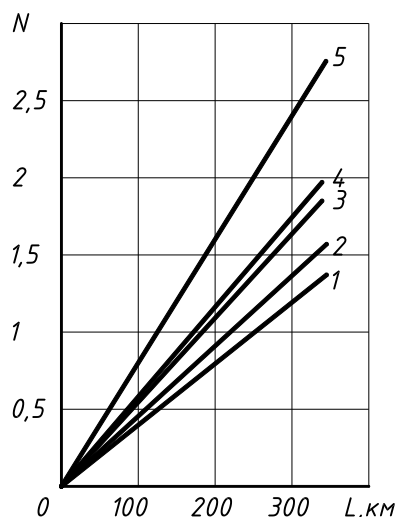
Из рис. 1 следует, что с ростом длины линии число грозовых её отключений увеличивается пропорционально. Кроме того, угол наклона зависимости $N=f(L_{лэп})$ с ростом величины импульсного сопротивления заземляющего устройства опоры увеличивается. Угол наклона тем больше, чем больше величина импульсного сопротивления.

Следует также отметить, что число грозовых отключений для линии без применения грозозащитных тросов с ростом длины линии резко увеличивается.

Рассмотрим зависимости числа грозовых отключений ВЛ от ее длины L , представленные на рис. 2.

Зависимость 1 соответствует числу грозовых отключений линии при наличии тросов и сопротивлению заземления опор $R_{и}=5$ Ом.

Зависимость 2 соответствует числу грозовых отключений линии без тросов. В данном случае длина линии отсчитывается от конца линии к ее началу, т.е. справа налево, как это показано на рис. 2.



1- $R_{\text{н}}=5$ Ом; 2- $R_{\text{н}}=10$ Ом; 3- $R_{\text{н}}=15$ Ом; 4- $R_{\text{н}}=20$ Ом; 5- $R_{\text{н}}=30$ Ом

Рис. 1 – Зависимость числа грозových отключений N ВЛ от длины линии L

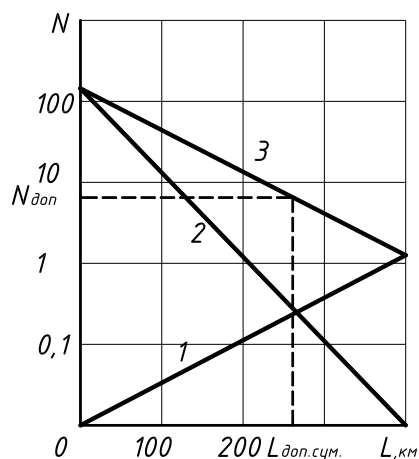


Рис. 2 - Зависимость числа грозových отключений N ВЛ от длины линии

Зависимость 3 позволяет определить число грозových отключений линии при отсутствии грозозащитных тросов на отдельных участках по её длине. Эта зависимость в сочетании с прямой допустимого числа

отключений линии $N_{\text{доп}}$ позволяет оценить возможность работы линии без немедленного восстановления оборванного по каким-либо причинам грозозащитного троса.

При этом суммарная длина оборванного на некоторых участках линии грозозащитного троса не должна превышать допустимой суммарной длины $L_{\text{доп.сум}}$. в соответствии с рис. 2.

Вывод. Несмотря на значительные успехи в области грозозащиты ВЛ, исследования продолжают. Это связано с необходимостью дальнейшего снижения риска отказов ВЛ по причине гроз. В статье показано применение нового подхода к оценке возможности работы воздушной линии электропередачи при частичном отсутствии грозозащитного троса. Применение этого подхода на примере воздушной линии 330 кВ показало, что полученные результаты позволяют получить существенный экономический эффект при их внедрении в электрических высоковольтных сетях.

Список литературы: 1. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для вузов / И.М. Богатенков, Г. М. Иманов, В. Е. Кизеветтер и др.; под ред Г. С. Кучинского. – СПб: Изд. ПЭИПК 1998. - 700 с. 2. Базуткин В. В. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов / В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь; под общ. ред. В. П. Ларионова. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с. 3. Координация изоляции и перенапряжения в электрических высоковольтных сетях: учеб. пособ. / В. И. Гуль, В. И. Нижевский, И. В. Хоменко и др.; под. ред. проф. В. И. Гуля. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 270 с. 4. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / Под научной редакцией н.н. Тиходеева. – 2-е изд. – СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 355 с.

Поступила в редколлегию 06.02.2012