

## ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ УСТАНОВКИ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ОПОРАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 35-220 КВ

*Н.И. Гумерова<sup>1</sup>, Ю.С. Попова<sup>1</sup>, Ф.Х. Халилов<sup>1</sup>, Г.Г. Хохлов<sup>1</sup>, А.А. Щобак<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

<sup>2</sup> Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*В статье сделана оценка частоты расстановки ОПН на опорах ВЛ и определено влияние различных параметров линии на «зону защиты» ограничителей.*

**Ключевые слова:** *грозоупорность, количество грозовых отключений, воздушная линия электропередачи, ОПН, частота установки, зона защиты.*

Снижение числа отключений высоковольтных воздушных линий (ВЛ) является важной задачей современной электроэнергетики. Значительная доля отключений ВЛ вызвана ударами молний. В ряде случаев традиционные мероприятия не обеспечивают защиты линий. В таких случаях предпочтение отдается альтернативным способам молниезащиты: установке на опорах ВЛ дополнительных молниезащитных тросов и нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН).

При монтаже ОПН на опоре ВЛ надёжно защищены только те фазы, на которых непосредственно установлен аппарат. Несмотря на отвод в фазные провода части тока молнии, протекающей по телу опоры, и снижения уровня напряжения на незащищённых гирляндах изоляторов при больших токах молнии, может произойти их перекрытие.

Каждый ограничитель, установленный на опоре ВЛ, имеет так называемую «зону защиты» – участок линии по обе стороны от опоры с установленным ОПН, на котором, благодаря аппарату, снижается число грозовых отключений. В настоящее время не существует однозначного ответа на вопрос о ширине такой зоны и о минимально допустимом расстоянии между ограничителями на линии. Поэтому, кроме нахождения оптимального места установки ОПН на опоре, важной задачей является определение расстояния между аппаратами защиты.

Для определения «зоны защиты» использовался переход от усреднённого количества отключений по всей длине ВЛ (применяемого во многих методиках расчёта числа грозовых отключений, например в [1]) к распределению отключений по всей длине линии. Количество грозовых отключений распределено по длине ВЛ неравномерно и зависит от параметров каждого отдельного участка линии. Поэтому, число грозовых отключений рассматривается как функция от координаты  $x$ , лежащей в пределах от нуля (начало линии) до  $l_1$  (конец линии)  $N_{ОТК} = f(x)$ . Такую функцию распределения количества грозовых отключений по длине линии можно назвать

---

*Натэлла Идрисовна Гумерова – к.т.н., доцент.*

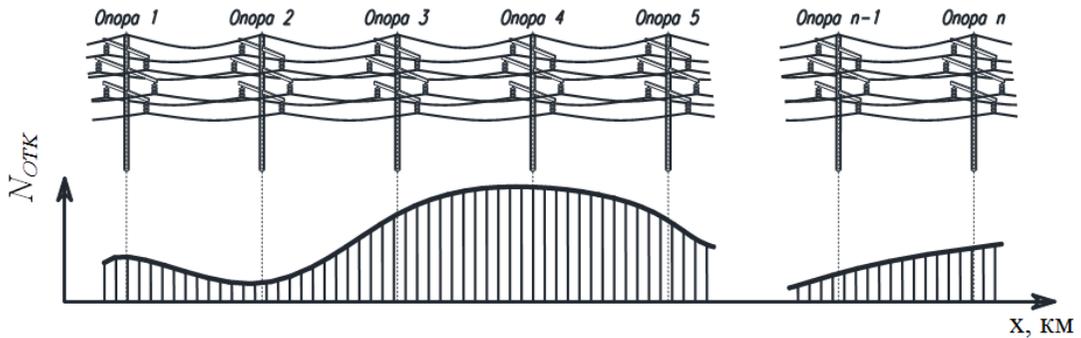
*Юлия Сергеевна Попова – аспирант.*

*Фирудин Халилович Халилов – д.т.н., профессор.*

*Григорий Григорьевич Хохлов – аспирант.*

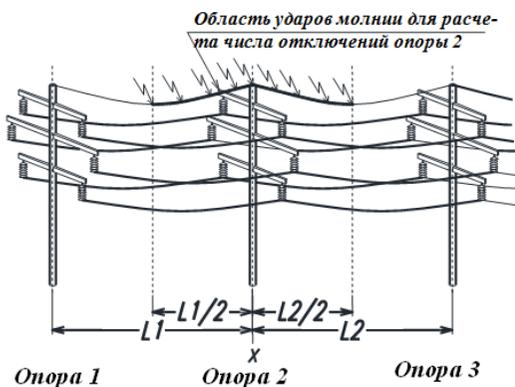
*Евгений Михайлович Шишков – студент.*

эпюрой числа грозовых отключений (см. рис. 1). Суммарное количество отключений ВЛ пропорциональна площади под эпюрой.



Р и с. 1. Эпюра числа грозовых отключений по длине ВЛ

Для удобства эпюра строится по точкам  $x$ , соответствующим местам расположения опор (вертикальные пунктирные линии на рисунке 1).  $N_{отк}$  для каждой такой точки  $x$  (места расположения опоры) складывается из числа отключений, вызванных ударами молний в вершину опоры с координатой  $x$ , и ударами в трос и фазный провод на расстоянии половины длины пролётов в обе стороны от опоры (см. рис. 2). Для расчёта числа прямых ударов молнии ( $N_{DLH}$ ) для каждой опоры берётся длина, равная сумме половин длин прилегающих к опоре пролётов.



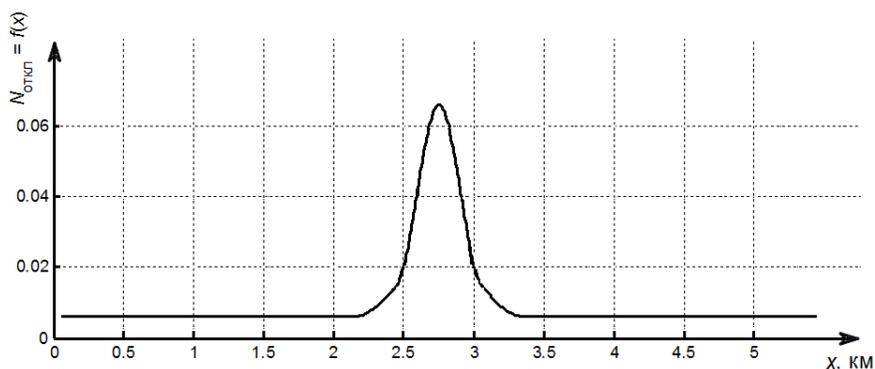
Р и с. 2. Область ударов молнии для расчёта числа грозовых отключений одной опоры

Сильнее всего на количество грозовых отключений каждого участка влияет сопротивление заземления опоры. На рисунке 3 представлена эпюра отключений ВЛ при высоком сопротивлении одной из опор. Вертикальными линиями показаны места расположения опор. Цифры над линиями – номера опор. Сопротивление заземления каждой опоры, кроме опоры №10, в данном расчёте было задано невысоким  $R_{он} = 25$  Ом. Сопротивление опоры №10 оказалось равным  $R_{он \ №10} = 100$  Ом. Видно, что количество отключений опоры №10 значительно выше, чем для остальных опор. Кроме того, несколько увеличено количество отключений соседних опор (№9 и №11).

При расчёте линий с установленными на её опорах ограничителями было установлено, что ширина зоны защиты аппарата во многом зависит от параметров участка линии, на котором установлен ограничитель. Так, при  $R_{он} = 15$  Ом, зона защиты ОПН невелика и ограничивается одной опорой. Ограничитель защищает только ту опору, на которой он установлен, и количество отключений соседних опор практически не меняется. Однако, при таком значении сопротивления заземления опор, зона защита ОПН от двухцепных перекрытий несколько больше, и не ограничивается только одной опорой, с установленным ограничителем.

При расчёте линий с установленными на её опорах ограничителями было установлено, что ширина зоны защиты аппарата во многом зависит от параметров участка линии, на котором установлен ограничитель. Так, при  $R_{он} = 15$  Ом, зона защиты ОПН невелика и ограничивается одной опорой. Ограничитель защищает только ту опору, на которой он установлен, и количество отключений соседних опор практически не меняется. Однако, при таком значении сопротивления заземления опор, зона защита ОПН от двухцепных перекрытий несколько больше, и не ограничивается только одной опорой, с установленным ограничителем.

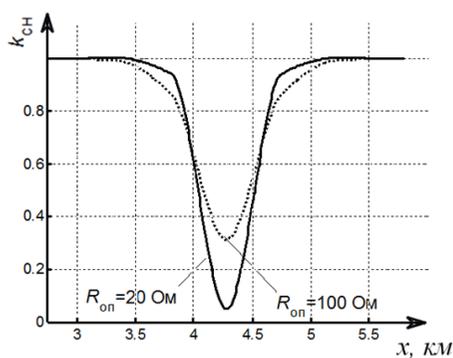
При расчёте линий с установленными на её опорах ограничителями было установлено, что ширина зоны защиты аппарата во многом зависит от параметров участка линии, на котором установлен ограничитель. Так, при  $R_{он} = 15$  Ом, зона защиты ОПН невелика и ограничивается одной опорой. Ограничитель защищает только ту опору, на которой он установлен, и количество отключений соседних опор практически не меняется. Однако, при таком значении сопротивления заземления опор, зона защита ОПН от двухцепных перекрытий несколько больше, и не ограничивается только одной опорой, с установленным ограничителем.



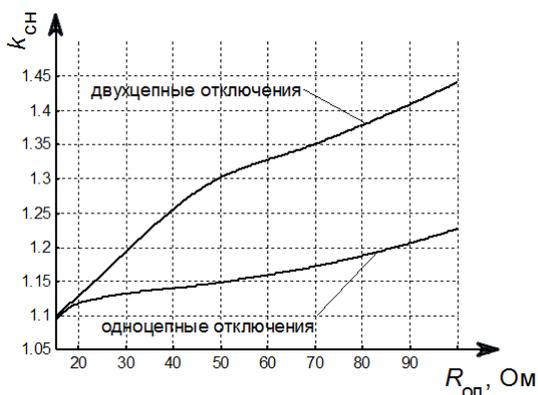
Р и с. 3. Эпюра  $N_{откл} = f(x)$  при высоком сопротивлении заземления опоры №10

С ростом сопротивления заземления опор, зона защиты ОПН возрастает как для двухцепных, так и для одноцепных перекрытий из-за уменьшения снижения части тока молнии отводимой в землю каждой опорой линии (рис. 4). Но при всех значениях  $R_{оп}$  зона защиты ОПН от двухцепных перекрытий несколько шире (см. рис. 5).

Кроме сопротивления заземления опоры, на зону защиты ОПН влияет длина пролётов между опорами. На рисунке 6 показаны зоны защиты при разных длинах пролёта. Сопротивления заземления опор в расчётах было принято  $R_{оп} = 100$  Ом. В отличие от предыдущих эпюр, для того чтобы координаты опор совпали при разных значениях длины пролёта, на данном рисунке по оси абсцисс отложено не расстояние  $x$  от начала линии, а номер опоры. Из эпюры 6 видно, что количество отключений на незащищённых опорах падает с увеличением частоты расстановки опор (снижением длины пролёта).



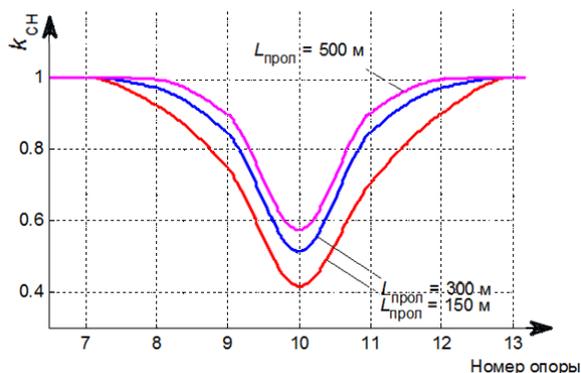
Р и с. 4. Зона защиты ОПН при двух разных значениях сопротивления заземления опор



Р и с. 5. Снижение числа отключений опоры соседней с защищённой ОПН

Так же на локальное изменение числа грозových отключений влияют такие параметры как: высота опоры, уровень линейной изоляции, высота тела опоры, взаимное расположение проводов, а также сочетание этих и прочих параметров на отдельных участках линии. Однако, в общем случае зону защиты ограничителя можно оценить в 700 – 850 м.

Ограничители, установленные на опорах ВЛ снижают общее число грозовых отключений. Чем чаще на линии установлены аппараты, тем больше такое снижение. В таблице 1 представлено число двухцепных отключений на примере ВЛ 220 кВ при



Р и с. 6. Зона защиты ОПН при разных длинах пролёта

различных местах и частоте установки ОПН на линии. Видно, что наибольшее снижение  $N_{ОТК}$  происходит при установке аппаратов на каждой опоре. Установка ОПН на каждой опоре так же является наиболее эффективным средством от одноцепных перекрытий. После проведения расчётов частоты установки ОПН при бестроссовой молниезащите ВЛ установлено, что из-за большой доли отключений, вызванной ударами молний в фазные провода, защитная зона ОПН, при отсутствии молниезащитных тросов не превышает одной опоры, как в

случае одноцепных, так и в случае двухцепных перекрытий. Сокращение длины пролёта при отсутствии молниезащитных тросов практически не расширяет защитную зону ограничителей.

Таблица 1

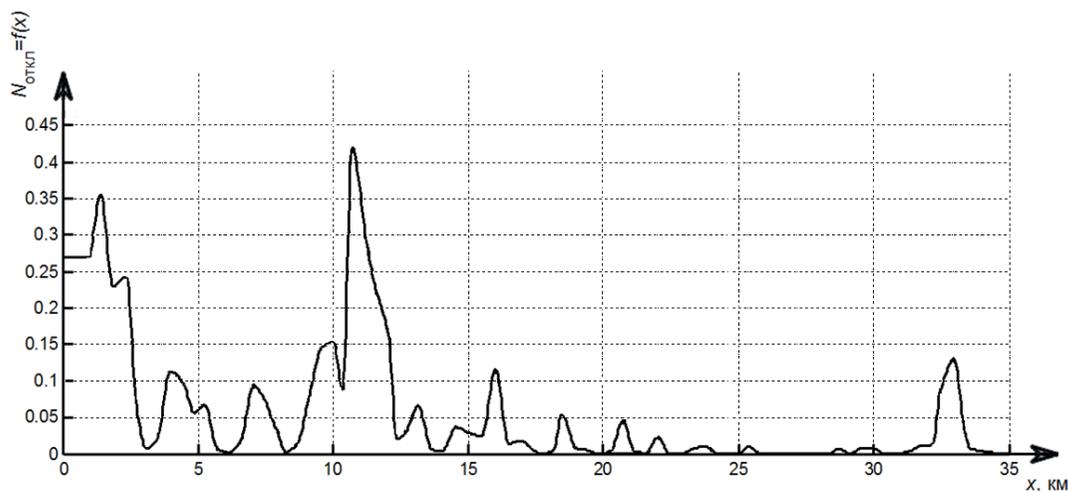
Число грозовых двухцепных отключений при разной частоте установки ОПН

Места установки ОПН	Частота установки ОПН	Сопротивление заземления опор, Ом			
		25	50	75	100
Без ОПН		0.43	2.42	4.79	7.95
ОПН на нижних фазах	Через 3 опоры	0.33	1.59	2.87	4.25
	Через 2 опоры	0.27	1.43	2.75	4.67
	Через опору	0.26	1.23	2.32	3.30
	На каждой опоре	0	0.16	0.50	0.88
ОПН на верхних фазах	Через 3 опоры	0.33	1.92	3.82	5.75
	Через 2 опоры	0.32	1.87	3.68	6.16
	Через опору	0.29	1.78	3.63	5.34
	На каждой опоре	0.10	0.26	0.79	0.94
ОПН на одной нижней фазе	Через 3 опоры	0.40	2.18	4.33	6.33
	Через 2 опоры	0.38	2.14	4.17	6.78
	Через опору	0.34	2.03	4.11	5.87
	На каждой опоре	0.12	0.30	0.89	1.03
ОПН на одной верхней и одной нижней фазе	Через 3 опоры	0.30	1.56	2.94	4.54
	Через 2 опоры	0.29	1.51	3.00	5.04
	Через опору	0.20	1.24	2.49	3.44
	На каждой опоре	0	0.27	0.76	0.98

Число грозových одноцепных отключений при разной частоте установки ОПН

Места установки ОПН	Частота установки ОПН	Сопротивление заземления опор, Ом			
		25	50	75	100
Без ОПН		0.56	2.21	3.94	5.54
ОПН на нижней фазе	Через 3 опоры	0.36	1.33	2.43	3.83
	Через 2 опоры	0.33	1.27	2.38	3.68
	Через опору	0.24	0.98	1.87	3.32
	На каждой опоре	0.04	0.37	0.91	1.54
ОПН на верхней фазе	Через 3 опоры	0.48	1.92	3.71	4.96
	Через 2 опоры	0.46	1.91	3.52	4.77
	Через опору	0.43	1.77	3.12	4.44
	На каждой опоре	0.30	1.36	2.68	3.90
ОПН на верхней и нижней фазах	Через 3 опоры	0.36	1.26	2.30	3.38
	Через 2 опоры	0.32	1.21	2.24	3.16
	Через опору	0.22	0.88	1.67	2.57
	На каждой опоре	0.02	0.21	0.32	0.45

Все расчеты, представленные выше, были проведены при условии, что параметры линии одинаковы. Но реально эксплуатирующиеся линии электропередач, как правило, обладают резко неоднородными параметрами по всей длине. Так величины сопротивлений заземлений для разных опор в пределах одной линии может колебаться от единиц до сотен Ом. Поэтому распределение числа грозových отключений резко изменяется по длине ВЛ. На рисунке 7 показано расчётное распределение числа отключений. Видно, что функция  $N_{откл} = f(x)$  имеет ярко выраженные пики. Эти пики соответствуют либо опорам с высоким сопротивлением заземления, либо местам локального повышения грозовой активности. Таким образом, поиск мест установки ограничителей должен производиться по реальными характеристикам ВЛ без их усреднения и переноса усреднённых параметров на все опоры линии.



Р и с. 7. Типичная эпюра числа грозových отключений реальной ВЛ

Таким образом по результатам работы можно сделать следующий вывод: при установке ОПН, наибольшее снижение отключений происходит на опоре с установленным аппаратом. Степень снижения  $N_{ОТК}$  на соседних опорах зависит от многих параметров линии: сопротивлений заземлений опор, длин пролётов и т.д., но в общем случае «зона защиты» ограничителя невысока и не превышает 2 опор. При эксплуатации ВЛ без тросов на вершинах опор, ограничители должны быть установлены на верхних фазах каждой опоры.

Так как параметры ВЛ резко неоднородны по всей длине линии, то необходимо осуществлять поиск мест установки ограничителей, задаваясь реальными параметрами ВЛ без их усреднения и распространения усреднённых параметров на все опоры линии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / Под науч. ред. Н.Н. Тиходеева. 2-е изд. – СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.

*Статья поступила в редакцию 13 апреля 2011 г.*

### **ASSESSMENT THE FREQUENCY OF MOUNTING SURGE ARRESTERS ON TOWERS OF POWER TRANSMISSION LINES 35-220 KV**

***N.I. Gumerova<sup>1</sup>, J.S. Popova<sup>1</sup>, F.Ch. Chalilov<sup>1</sup>, G.G. Hohlov, E.M. Shishkov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>St. Petersburg State Polytechnical University  
29, Polytechnicheskaya str., St. Petersburg, 195251

<sup>2</sup>Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100

*The article presents an assessment of the frequency arrangement of arresters on overhead lines and determined the effect of various parameters of the line for "protection zone" limiters.*

***Keywords:*** lightning proofness, the number of lightning outages, air power line surge arresters, the frequency of the installation, the zone defense.

---

*Natella I. Gumerova – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.*

*Yulia S. Popova – Postgraduate student.*

*Firudin Ch. Chalilov – Doctor of Technical Sciences, Professor.*

*Grigoriy G. Hohlov – Postgraduate student.*

*Evgeniy M. Shishkov – Student.*