

6
А-60

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ М. И. КАЛИНИНА**

На правах рукописи

МЕЗГИН Владимир Александрович

**ГРОЗОЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
В ГОРНЫХ РАЙОНАХ**

(05.14.12 — —техника высоких напряжений)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград 1973

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

МЕЗГИН Владимир Александрович

ГРОЗОЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕН-
НОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

(05.14.12 - техника высоких напряжений)

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
1973

Работа выполнена в Главном производственном управлении энергетики и электрификации Киргизской ССР.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, Короунцев А.В.

Официальные оппоненты:

1. Член-корреспондент АН СССР, доктор технических наук, профессор Костенко М.В.
2. Кандидат технических наук, доцент Кадомская К.П.

Ведущая организация — Главное производственное управление энергетики и электрификации Армянской ССР

Автореферат разослан "___" _____ 197__ г.

Защита состоится "___" _____ 197__ г.

на заседании Совета электромеханического факультета (секция техники высоких напряжений) Ленинградского ордена Ленина политехнического института имени М.И. Калинина (194251, Ленинград, Политехническая ул., дом 29, аудитория 130).
Просим выслать отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью, по вышеуказанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
электромеханического факультета
к.т.н., доцент П.Н. Бондаренко

В В Е Д Е Н И Е

Для горных линий электропередачи, проходящих в сложных климатических, рельефных и геологических условиях, большое значение приобретают задачи выявления резервов уменьшения стоимости их сооружения и удешевления эксплуатации.

Возросшие темпы строительства линий электропередачи в горных районах СССР, сооружение магистральных линий напряжением 500 кв, пересекающих горные хребты высотой до 3500 м, требуют решения ряда научно-технических проблем, одной из которых является обоснованный выбор грозозащитных мероприятий. На возможность ослабления требований к грозозащите горных линий с учетом снижения величины токов молнии в свое время указывалось в работах В.В. Бургодорфа. Однако, до последнего времени это не находило достаточного отражения в осуществляемых нормах и требованиях. Действующие директивные материалы по проектированию грозозащиты не учитывают особенностей горных условий, и грозозащита горных линий выполняется исходя из осуществляющего опыта эксплуатации равнинных линий.

Все это, а также имеющийся опыт эксплуатации высоковольтных сетей системы Киргизглавэнерго обусловили необходимость заняться специальными исследованиями в области грозозащиты горных линий, в задачи которых входило:

— разработка методики определения грозопоражаемости линий электропередачи с учетом особенностей протекания грозовых процессов в горах и определение влияния на поражаемость линий экранирующего действия поверхности земли в условиях сложного рельефа местности;

— внесение уточнений в осуществляемую методику расчетов грозоупорности линий высокого напряжения, обусловленных снижением

параметров токов молнии в горах и увеличением сопротивлений заземления опор;

- изучение опыта эксплуатации линий напряжением 110 кв, построенных по рекомендациям автора в системе Киргизглавэнерго с упрощенной по сравнению с действующими нормами грозозащитой (без грозозащитного троса, либо с тросом, но без искусственных заземлителей опор) в районах, относящихся, согласно существующим грозовым картам, к районам с умеренной и сильной грозовой деятельностью;

- разработка рекомендаций по выполнению грозозащиты горных линий.

УСЛОВИЯ ГРОЗОЗАЩИТЫ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

При проектировании ВЛ в горных районах должны учитываться не только характеристики грозовой деятельности, которые влияют на надежность работы линии при грозах, но и возможные затруднения, возникающие при сооружении линий, и нарушения в работе при эксплуатации в негрозовом период, связанные с применением тех или других средств грозозащиты.

С такой точки зрения горные районы характеризуются следующими особенностями:

I. Значительным влиянием рельефа местности и геологического строения верхнего олоя земли на грозопоражаемость.

Особенности формирования горных гроз и наличие в горах территориально ограниченных местных воздушных течений - горно-долинных ветров приводят к принудительному распределению грозовой облачности и благоприятствуют развитию грозовых процессов над хребтами, окружающими горные долины, благодаря че-

му сами долины часто бывают свободны от грозовой облачности. При движении грозовой облачности над местностью разрядами молнии чаще поражаются склоны возвышенностей и горных хребтов, расположенные на пути движения, а также места резкого изменения удельного электрического сопротивления верхних олоев земли. Замечено также, что при фронтальных грозах поражаемость земли увеличивается по сравнению с грозами внутримассовыми. Это может иметь значение для горных районов, где доля внутримассовых гроз достигает до 40-50% от их общего числа. Применяемая в настоящее время количественная оценка интенсивности грозовой деятельности (и, соответственно, грозопоражаемости) по суммарной годовой продолжительности гроз для пункта наблюдения не учитывает этих особенностей горных районов из-за ограниченности исходных данных гидрометеорологических станций, которые не позволяют судить о территориальном распределении гроз над рассматриваемым районом. В связи с этим для горных долин, где большей частью расположены линии электропередачи, существующие грозовые карты дают завышенную интенсивность грозовой деятельности.

2. Снижением амплитуды и крутизны фронта токов молнии по сравнению с прилегающими к горам равнинами. Имеющиеся данные позволяют оценить влияние возможных причин на снижение параметров токов молнии лишь качественно. Поэтому в расчетных целях следует пользоваться известными кривыми повторяемости параметров токов молнии, обобщенными для отметок выше 700 м:

$$\ln P_1 = -0,0771, \quad (1)$$

$$\ln P_A = -0,125A, \quad (2)$$

где I и A — соответственно амплитуда и крутизна фронта токов молнии; P_I и P_A — вероятность превышения параметром I или A данного значения.

3. Снижением плотности воздуха с увеличением высоты местности, вызывающим ухудшение изолирующих свойств линейной изоляции. Это ослабление в значительной степени компенсируется добавлением числа изоляторов, выполняемым в соответствии с рекомендациями Правил устройства электроустановок.

4. Общей тенденцией к увеличению удельного электрического сопротивления горных грунтов, которое приводит к удорожанию заземляющих устройств опор и снижает их эффективность как элемента грозозащиты. В ряде случаев, при очень высоких значениях удельного сопротивления, линии сооружаются без грозозащиты.

5. Наличием участков трасс линий, подверженных сильному гололедообразованию. Отказ от подвески троса в этом случае снижает механические нагрузки на опоры линий и значительно уменьшает аварийность от гололеда.

6. Трудной доступностью трасс линий в зимнее время. Имеющиеся литературные данные об опыте эксплуатации указывают на высокую грозоопасность горных линий. Несмотря на интенсивную грозовую деятельность, число грозových отключений линий в горах обычно не превышает числа отключений линий в равнинных районах СССР. Данные о работе горных линий без троса также свидетельствуют о относительно низком числе отключений на этих линиях. При этом подавляющее число грозových отключений ликвидируется АПВ.

И наиболее серьезным последствием в горных условиях приводят аварии, связанные с механическими нарушениями на ли-

ниях и являющиеся следствием гололедных, ветровых нагрузок, обвалов, оползней, лавин, подмывов и т.п. Такие аварии на горных линиях оставляют значительно больший процент числа аварий, чем на равнинных линиях, и происходят, как правило, в период наиболее напряженных режимов работы энергосистемы и трудной доступности трасс линий.

ОЦЕНКА ЭКРАНИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ ПОРАЖЕНИИ МОЛНИЕЙ ГОРНЫХ ЛИНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Для установления реальной картины распределения разрядов молнии между поверхностью земли и расположенной на ней линией определяющим должен быть материал, получаемый из опыта эксплуатации. Этот опыт крайне ограничен даже для обычных равнинных линий электропередачи. Для горных линий, которые рассматриваются в настоящей работе, такие данные практически отсутствуют. Существующая модель поражаемости линий не позволяет оценить степени их экранирования в условиях сложного рельефа. Для линий же, проходящих по узким горным ущельям, учет экранирующего действия склонов может иметь большое значение. Это обусловило необходимость обратиться к электрогеометрической модели поражаемости. Несомненно, что используемые при электрогеометрическом подходе принципы не учитывают ряда факторов, искажающих описываемую этим методом картину процесса развития разряда. Фактическое развитие разряда молнии, по-видимому, характеризуется большим разбросом по отношению к электрогеометрической модели.

С практической точки зрения задача распределения разрядов молнии между линией и поверхностью земли сводится к определению числа ударов молнии в линию. За исходные данные при построении модели грозопоражаемости линий были приняты: удельная поражаемость молнией земной поверхности — n_0 , I/км² год; кривая плотности распределения вероятности амплитуды токов молний, поражающих землю — $p_0(I) = f(I)$; зависимость расстояния ориентировки молнии от амплитуды тока главного разряда — $H = f(I)$; высота линии — h_{cp} ; взаимное расположение линии и поверхности земли с учетом угла уклона поверхности земли φ° . Расстояния ориентировки определялись как отношение потенциала головки опускающегося лидера молнии к среднему значению напряженности поля вдоль каналов стримерной зоны исходя из условия, что момент ориентировки наступает при соприкосновении стримерных зон лидера молнии и поражаемого объекта. Потенциал лидера молнии находился на основании несколько видоизмененных с учетом поставленной задачи зависимостей, предложенных Г.Н. Александровым, а также по аналитической модели удара молнии, разработанной Вагнером. Расстояния ориентировки, полученные с использованием обоих методов, имеют близкие значения.

Общее выражение для числа ударов молнии в линию за год можно получить, учитывая, что каждому значению амплитуды тока молнии соответствует определенная площадь зоны поражения и удельное число ударов молнии в землю с данной амплитудой (n_0^I):

$$N = \ell \int_0^{\infty} n_0^I B dI, \quad (3)$$

где ℓ — длина линии; B — ширина зоны поражения линии.

В условиях оложного рельефа ширина зоны поражения является функцией расстояния ориентировки, высоты линии и взаимного расположения линии и поверхности земли:

$$B = 2 \cos \varphi \sqrt{h_k (2H - h_k)} - 2(H - h_k) \sin \varphi. \quad (4)$$

Здесь h_k — кажущаяся высота линии, определяемая геометрией взаимного расположения линии и поверхности земли.

Для случая, когда кривая повторяемости амплитуды токов молнии описывается зависимостью типа (1), после интегрирования было получено выражение для определения числа ударов молнии на 100 км длины линии в год:

$$N = 200 n_0 \cos \varphi \left\{ \frac{1}{K_H^0} \gamma(2,0; h_k K_H^0) + \sqrt{\frac{2h_k}{K_H^0}} \left[\gamma(1,5; H_{пр} K_H^0) - \gamma(1,5; h_k K_H^0) \right] + h_k \operatorname{tg} \varphi \left[\gamma(1,0; H_{пр} K_H^0) - \gamma(1,0; h_k K_H^0) \right] - 0,35 h_k \sqrt{h_k K_H^0} \left[\gamma(0,5; H_{пр} K_H^0) - \gamma(0,5; h_k K_H^0) \right] - \frac{1}{K_H^0} \operatorname{tg} \varphi \left[\gamma(2,0; H_{пр} K_H^0) - \gamma(2,0; h_k K_H^0) \right] \right\}, \quad (5)$$

где K_H^0 — коэффициент, характеризующий повторяемость расстояний ориентировки для молний, поражающих поверхность земли; $H_{пр}$ — расстояние ориентировки молнии с амплитудой, вероятность которой при поражении линии равна нулю; γ — неполная гамма-функция.

Самыми важными и часто встречающимися на практике являются случаи, когда линия проходит по ровной местности и по дну

горного ущелья. Для первого случая, после введения некоторых упрощений, была получена зависимость:

$$N = 0,23 n_0 \sqrt{h_{cp} / K_I^n} \quad (6)$$

где K_I^n — коэффициент, характеризующий повторяемость амплитуды токов молний, поражающих линию электропередачи (для горных районов $K_I^n = 0,077$).

Эта зависимость отличается от применяемых для расчетов в настоящее время более слабой связью поражаемости с высотой линии, а также влиянием на поражаемость повторяемости амплитуды токов молнии. Получаемое по (6) число ударов молнии в линию электропередачи примерно в 1,5 раза меньше имеющихся опытных данных. Это расхождение снижается, если при определении расстояний ориентировки молнии учесть наличие встречных лидеров, развивающихся с линии.

Когда линия проходит по дну ущелья, за счет экранирующего действия склонов число ударов молнии в линию уменьшается тем сильнее, чем круче склоны. При этом уменьшение поражаемости происходит, в основном, за счет молний с большой амплитудой тока. Степень экранирования линий склонами ущелья можно характеризовать с помощью коэффициента экранирования, равного отношению поражаемости линии в ущелье к ее поражаемости на ровной местности:

$$K_{cp} = \frac{N_{cp}}{N} \quad (7)$$

В таблице I приведены значения коэффициента экранирования, рассчитанные по (5) и (7) для случая, когда линия средней высотой $h_{cp} = 20$ м проходит по ущелью с шириной дна ущелья, равной 50 м.

Таблица I

Крутизна склонов ущелья	0°	30°	60°
Коэффициент экранирования	1,0	0,82	0,62

На величину коэффициента экранирования кроме крутизны склонов большое влияние оказывает ширина дна ущелья.

ВОПРОСЫ ВЫБОРА ГРОЗОЗАЩИТЫ ГОРНЫХ ЛИНИЙ

Методы выбора грозозащиты для равнинных районов разработаны достаточно полно и описываются с имеющимся опытом эксплуатации. В горных условиях использование этих методов возможно только после внесения в них соответствующих изменений и уточнений, обусловленных особенностями протекания грозовых процессов и формирования разрядов молнии в горах, а также другими условиями горных районов. При выборе расчетной методики за основу была принята методика определения грозоупорности линий, разработанная Д.В. Разевигом и развитая в работах А.В. Короунцева и Л.Е. Кузнецовой (методика НИИПТ).

Расчет кривых опасных параметров, характеризующих уровень грозоупорности, для горных линий по существу не отличается от расчета для линий, проходящих по равнине. Изменение параметров токов молнии необходимо учитывать лишь при определении вероятности перекрытия линейной изоляции. Принимая во внимание, что обобщенные кривые повторяемости для амплитуды и крутизны фронта токов молнии в горах имеют вид (1) и (2), частичная вероятность при графоаналитическом интегрировании распределения случайных сочетаний параметров молнии в области опасной зоны будет иметь вид:

$$\Delta_i P = e^{-\frac{I_i}{13}} \left(e^{-\frac{A_i'}{8}} - e^{-\frac{A_i''}{8}} \right), \quad (8)$$

где I_i — значение амплитуды тока молнии, соответствующее границе пересечения кривой опасных параметров с элементарной площадкой интегрирования; A_i' и A_i'' — значения крутизны фронта тока молнии, определяющие ширину элементарной площадки интегрирования.

Для случая удара молнии в трос в средней части пролета при определении напряжения на гирляндах по концам пролета в методике НИИПТ используется упрощенная формула, не учитывающая влияния сопротивления заземления на величину тока молнии, протекающего через опору с тросом. На горных линиях величина сопротивления заземления опор может достигать больших значений и оказывать существенное влияние на величину тока через опору. Учет этого влияния позволил получить следующие расчетные зависимости для определения амплитуды и крутизны фронта тока молнии, протекающего через опору при поражении троса в середине пролета:

$$I_{on} = A \frac{L_{тр}}{2R} (1 - e^{-\mu t}), \quad (9)$$

$$\frac{dI_{on}}{dt} = A \frac{L_{тр}}{2(L_{тр} + L_{оп}^{тр})} e^{-\mu t}, \quad (10)$$

где $L_{тр}$ — индуктивность троса; $L_{оп}^{тр}$ — полная индуктивность опоры; R — сопротивление заземления опоры; t — время;

$$\mu = \frac{R}{L_{тр} + L_{оп}^{тр}} \quad (11)$$

Напряжение на гирляндах по концам пролета, если пренебречь магнитной и электрической составляющими взаимной индукции от канала молнии, определится по уравнению:

$$U_{из} = I_{on} R (1 - K) + L_{оп}^{np} \frac{dI_{on}}{dt} \left(1 - K \frac{h_{оп}}{h_{np}} \right), \quad (12)$$

где K — коэффициент связи троса и провода; $L_{оп}^{np}$ — индуктивность участка опоры от заземления до уровня точки подвеса провода; $h_{оп}$ — высота опоры; h_{np} — высота точки подвеса провода.

Поскольку в горных районах число грозových часов не может служить основой при определении числа ударов молнии в линию, были выполнены исследования грозопоражаемости воздушных линий Киргизии и получена эмпирическая зависимость для числа ударов молнии:

$$N = 0,18 h_{cp} (N_{y.r.c.} + 1,2), \quad (13)$$

где в качестве характеристики интенсивности грозовой деятельности использовано удельное число грозových часов ($N_{y.r.c.}$, на 100 км² площади обзора метеостанции), определяемое по карте, составленной в Киргизском научно-исследовательском отделе энергетики.

Учитывая изложенное, были выполнены соответствующие расчеты и построены характеристики грозоупорности горных линий электропередачи, определяющих зависимость числа грозových отключений N от конструкции линии, величины сопротивления заземления опор R и импульсной прочности линейной изоляции $U_{50\%}$ при 100 ударах молнии в линию (рисунк 1).

Проведенные расчеты показали, что значительная часть горных линий в Киргизии, может сооружаться без троса, а сопротивления заземления опор линий с тросом могут быть уве-

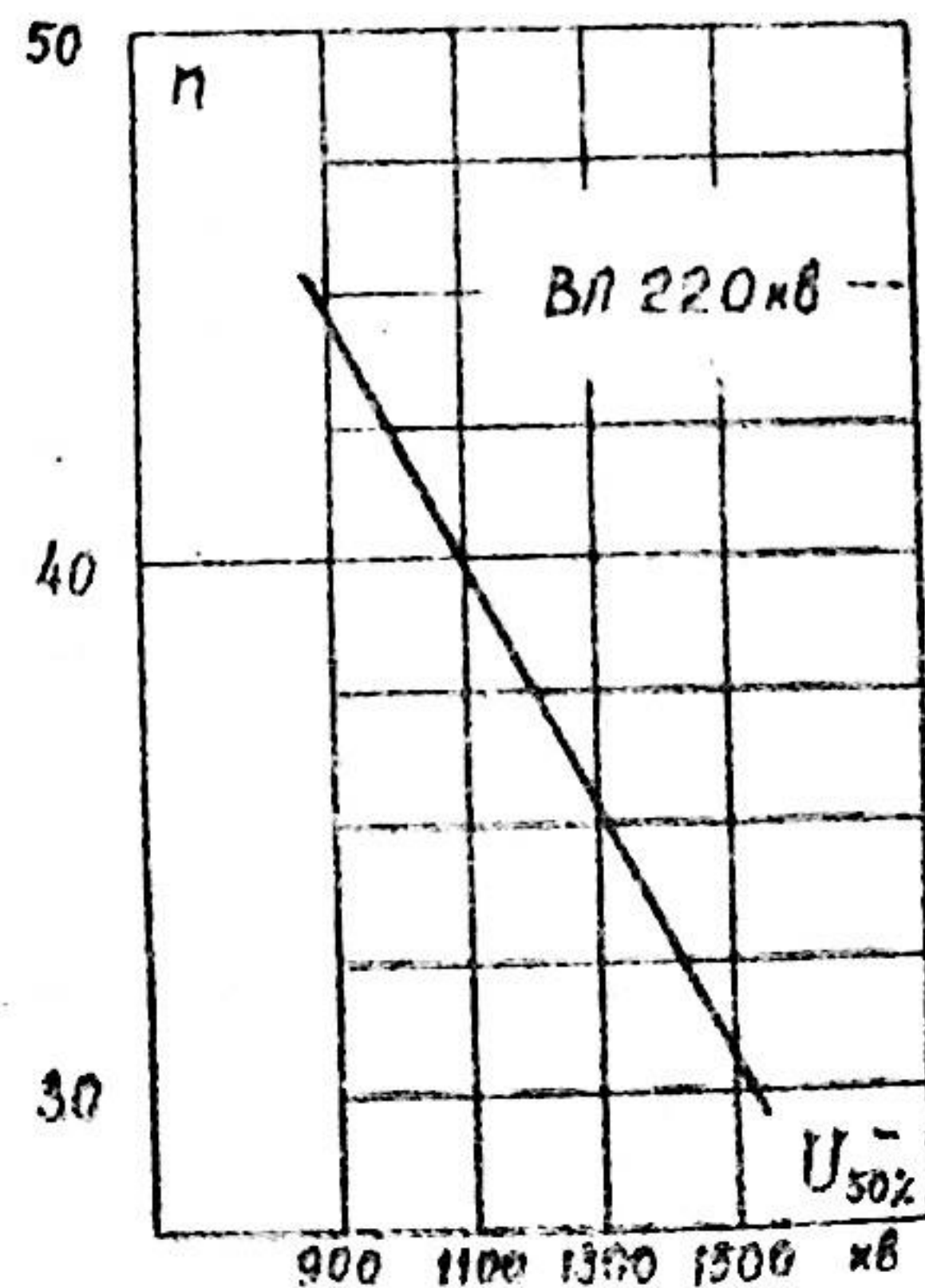
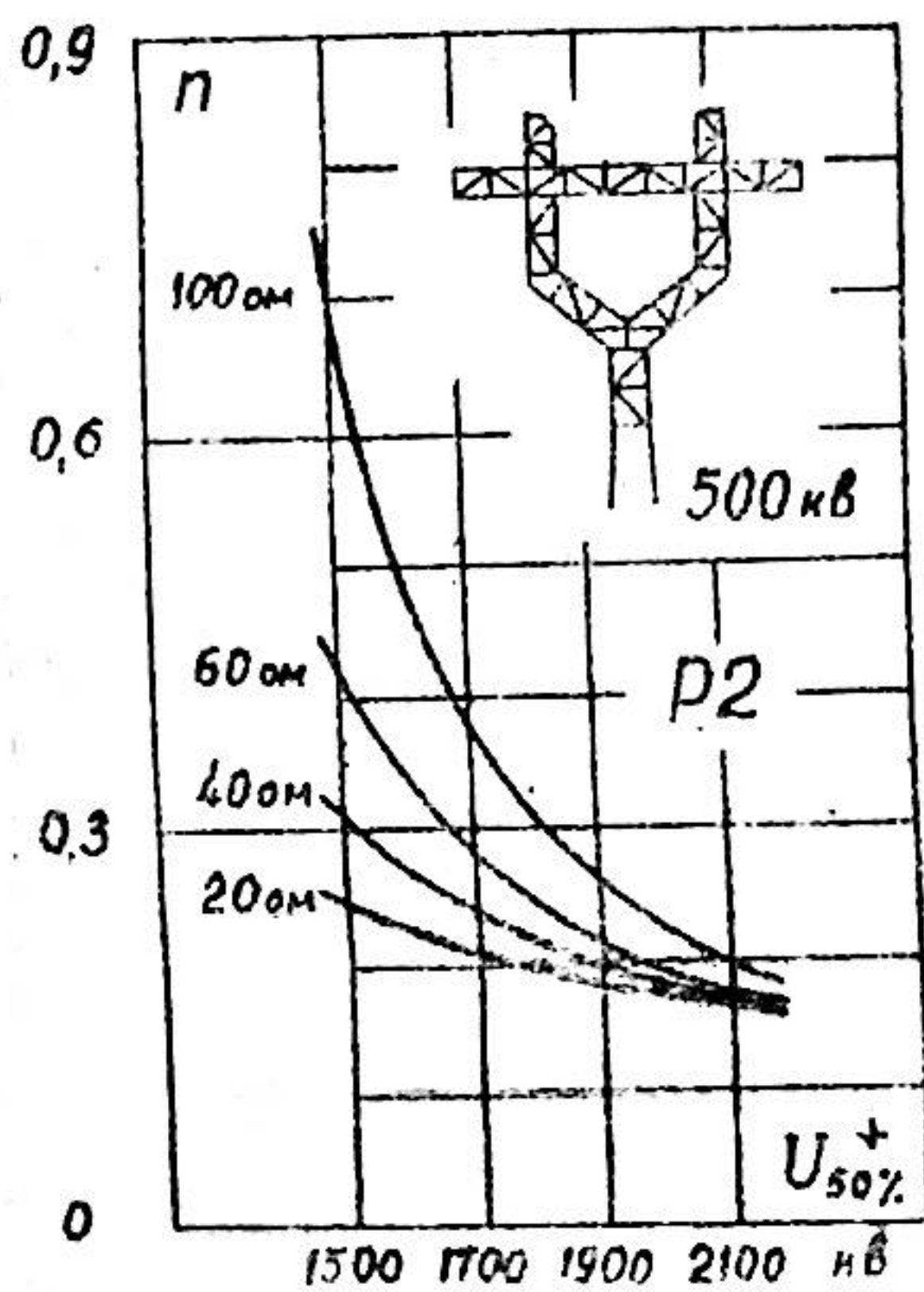
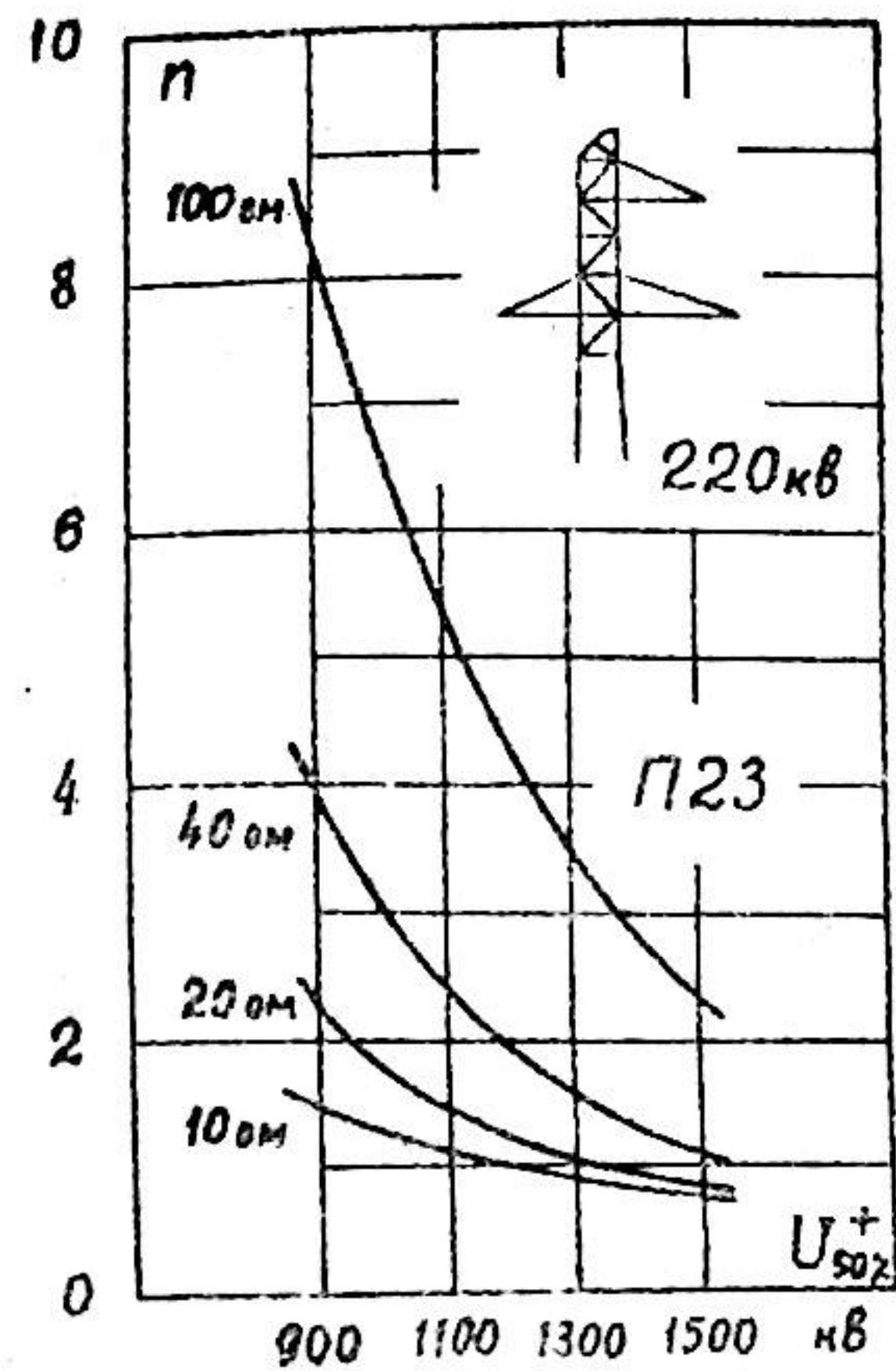
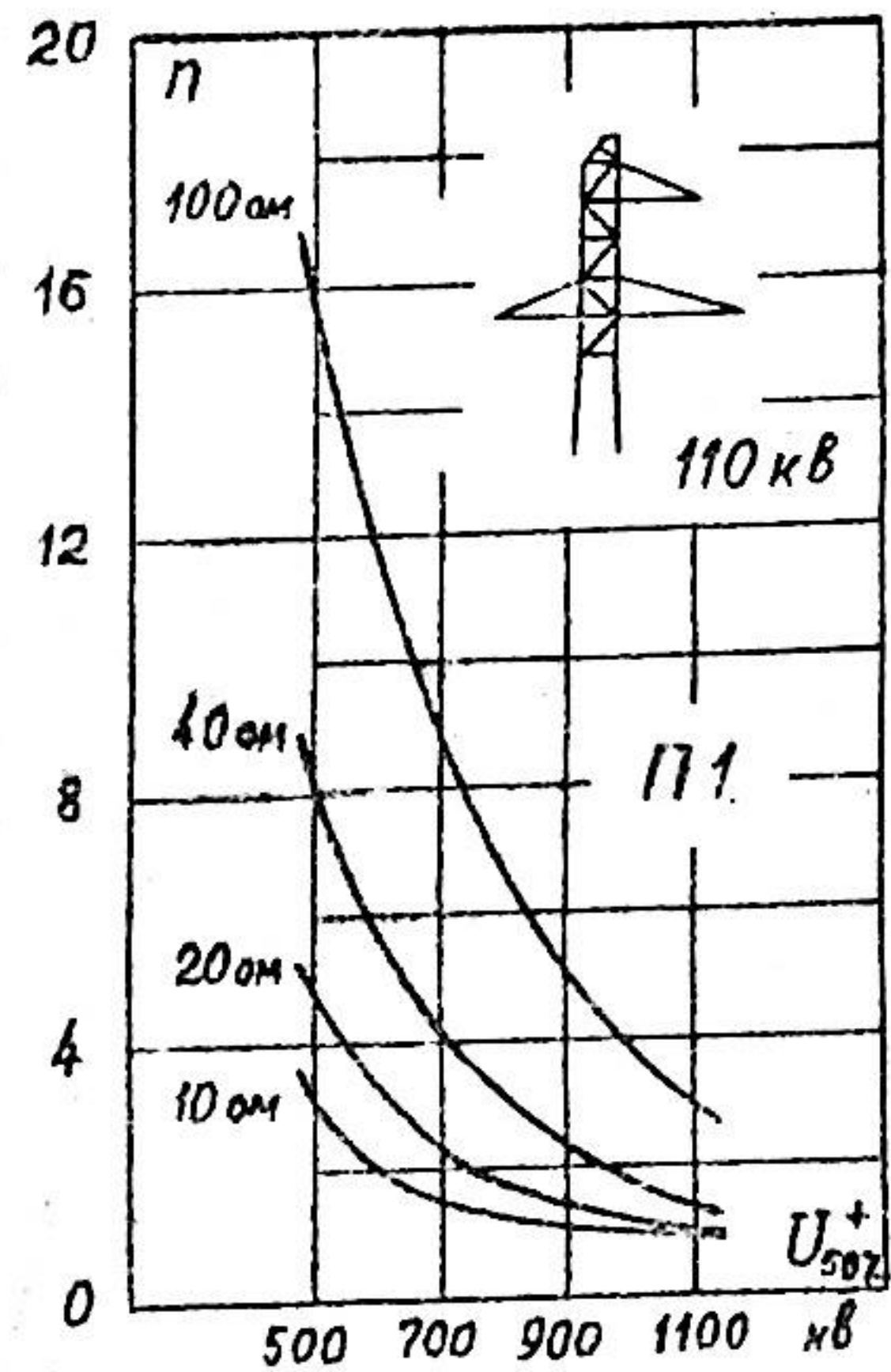


Рис. 1. Расчетное число грозных отключений при 100 прямых ударах молнии для горных линий с грозозащитным тросом

($U_{50\%}^+$) и без троса ($U_{50\%}^-$)

личены более чем в 4 раза по сравнению с равнинными при условии обеспечения одинакового числа грозных отключений.

В связи с этим, была рассмотрена возможность использования в качестве заземлителей фундаментов железобетонных и металлических опор. Измерениями на действующих линиях электропередачи в грунтах с удельным сопротивлением до 1000 ом \times м было установлено, что сопротивления растеканию фундаментов металлических и железобетонных опор в таких грунтах обеспечивают необходимую грозоупорность горных линий. Измерение влажности бетона показали, что протекание через железобетонные элементы фундаментов токов молний не представляет опасности.

В качестве практического примера выполнения этих рекомендаций в приложении к диссертации дано обоснование исходных данных и произведен выбор грозозащиты ВЛ-500 кВ Токтогульская ГЭС - Фрунзе. При этом тщательный анализ данных о грозовой деятельности позволил прийти к заключению о возможности отказа на этой линии от грозозащитного троса.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ ЛИНИЙ КИРГИЗИИ

Большинство линий электропередачи Киргизии напряжением 110 кВ расположены в широких горных долинах и на отрогах горных хребтов с отметками от 600 до 2000 м над уровнем моря. Часть линий, по которым осуществляется электроснабжение центральных высокогорных районов республики, проходят по сильно пересеченной местности, по узким ущельям и пересекают горные хребты высотой до 3575 м. До 1968 года все линии были сооружены на металлических и железобетонных опорах башенного типа с изоляцией, в основном, из изоляторов типа ПС-6, ПС 6А и ПС-6, число которых в гирлянде соответствует требованиям ПУЭ с

учетом высоты местности, с грозозащитным тросом (за исключением участка длиной 40 км).

По существующим грозовым картам Киргизия относится к районам с умеренной грозовой деятельностью со средним числом грозовых часов в году 30-40.

Для проверки возможности ослабления требований к грозозащите горных линий Киргизии был проведен анализ опыта эксплуатации с выявлением причин, приводящих к отключениям линий. Число грозовых отключений оказалось в 1,5-4,0 раза меньше, чем было получено расчетом, даже с учетом снижения параметров токов молнии для горных районов.

С целью выяснения распределения грозопоражаемости по территории республики и оценки интенсивности грозовой деятельности отдельных районов была проанализирована грозовая аварийность и работа грозозащитной аппаратуры в распределительных сетях напряжением 6-10 кв. Срабатывание трубчатых разрядников происходит, в основном, в предгорной зоне. В центральной части широких горных долин и в районах, закрытых от вторжения грозовых фронтов высокими хребтами, разрядники практически не работают. Проведенное сравнение аварийности и работы разрядников в сетях Киргизии, Свердловской и Горьковской областей показало, что грозопоражаемость в целом по Киргизии по крайней мере в 5 раз ниже, чем в указанных областях.

Основываясь на проведенном анализе и выполненных расчетах, в системе Киргизглавэнерго к 1972 году более 30% от общей длины линий напряжением 110 кв системы было сооружено либо без троса (270 км) либо с тросом, но без искусственных

заземлителей опор (278 км). Краткая характеристика линий с облегченной грозозащитой и данные о грозовых отключениях за время их работы (до 1972 года) приведены в таблице 2. Итоги двенадцатилетнего опыта эксплуатации линий 110 кв Киргизии позволяют сделать достаточно обоснованные выводы о надежности их работы при грозах. За этот период на них не было ни одной аварии, вызванной грозовыми поражениями. Все четыре перекрытия изоляции, отнесенные к грозовым, ликвидировались повторным включением. Показатели грозоупорности линий 110 кв имеют величину: для линий с тросом (8740 кмлет эксплуатации) - 0,023 отключения, для линий без троса (935 кмлет эксплуатации) - 0,22 отключения на 100 км длины линии в год. На отсутствие грозовых отключений указывает также пятилетний опыт эксплуатации линий напряжением 220 кв с тросом (2300 кмлет эксплуатации).

В 1968-1970 годах были организованы наблюдения за грозопоражаемостью линий с помощью ферромагнитных регистраторов. За 3 года было зарегистрировано 58 ударов молнии в линии (протяженность участка с регистрацией составляла 190 км). Поражаемость на отметках до 2000 м н.у.м. была в 2-3 раза ниже, чем на больших высотах. Очень низкой оказалась поражаемость участков линии, проходящих по узким ущельям - более, чем в 30 раз слабее, чем для всей линии в целом. Влияние геологического строения земли на поражаемость установить не удалось, вероятно из-за очень большой неоднородности грунтов. Установлено, что поражению чаще подвержены участки на склонах, обращенных навстречу движению грозовых фронтов.

Из таблицы 3, в которой приведено сравнение грозопоража-

Таблица 2.

№ п/п	Наименование линии	Длина на линии, км	Число км х лет наблюдения	Высота над уровнем моря, м	Число грозových часов, час/год	Грозозащита	Период наблюдения, годы	
							Общее число дней, годы	Грозозыч отключений
1.	Пржевальск-Каджисай	114	460	1615-1905	30-50	Трос на участке 20 км, остальное без троса.	1968-1972	0
2.	Кочкорка-Нарын	110	440	1800-3575	15-35	Без троса 8 км, остальное с тросом, но без искусственных заземлителей.	1968-1972	0
3.	Ташкумыр-Каракуль (участок без троса)	40	400	600-900	50-70	Без троса	1963-1972	2
4.	Оп-Карау	19,3	96	600-800	15-20	Без троса	1968-1972	0
	II цепь	19,3	58	600-800	15-20	Без троса	1970-1972	0
5.	Избаскент-Джалал-Абад	56,3	563	600-900	25-30	Трос по всей длине. Средняя величина сопротивления заземления опор 70 Ом.	1963-1972	0
6.	Каракуль-Токтогул	107	214	900-2200	60	Без троса 7,7 км, остальное с тросом, но без искусственных заземлителей.	1971-1972	0
7.	Наманган-Шекафтар (участок без троса)	13,6	40	600-700	60	Без троса	1970-1972	0

емости линий с характеристиками грозовой деятельности, следует, что для горных районов число грозových часов по существующим картам не может характеризовать поражаемость линий. Лучшие результаты в качестве характеристики грозовой деятельности дает удельное число грозových часов.

Таблица 3

№ п/п	Участки линий	Число грозových часов по карте, час/год	Удельное число грозových часов, час/100 км кв. год	Поражаемость на 100 км длины линии в год
1.	ВЛ Пржевальск-Каджисай			
	а) от 0 до 79 км	30-50	0,5-1,0	6,7
2.	ВЛ Кочкорка - Нарын			
	а) от 0 до 45 км	35-20	0,5-1,0	8,5
	б) от 45 до 80 км	20-15	4,0-5,0	24,5
	в) от 80 до 110 км	15	нет данных	24,2
	г) от 0 до 110 км	35-15	-	17,8
3.	Обе линии	-	-	13,6

Оценка величины токов молний, поразивших опоры, показала, что максимальное значение не превышало 30 кА при среднем значении II кА.

Интересным является тот факт, что на линии без троса Пржевальск-Каджисай было зарегистрировано 12 случаев протекания через опоры токов молнии с амплитудой 4-30 кА, хотя грозových отключений на линии не было. Это возможно в том случае, если разрядами молнии поражались только опоры, и может быть объяснено возникновением от опор к облаку встречных лидеров, экранирующих провода. Наличие большого числа восходящих раз-

рядов молнии при поражении возвышающихся объектов в горах подтверждается исследованиями Бергера в Швейцарии, где доля таких разрядов достигла 80%.

ВЫВОДЫ

1. Существующие грозовые карты не отражают действительного характера грозовой поражаемости в горных районах. Исследование грозопоражаемости линий с помощью ферромагнитных регистраторов, проведенное автором, показало, что значительное влияние на поражаемость оказывает рельеф местности. Средняя поражаемость линий Киргизии оказалась вдвое ниже, чем таких же линий в Европейской части СССР.

Определение числа ударов молнии для горных линий электропередачи должно производиться на основании опытных данных о грозопоражаемости линий непосредственно в рассматриваемом районе с учетом экранирования линий горными склонами, либо, при отсутствии таких данных, — косвенным путем, с использованием полученной в настоящей работе зависимости поражаемости линий от удельного числа грозовых часов.

2. Экранирование склонами ущелий горных линий от ударов молнии определяется коэффициентом экранирования, полученным исходя из предложенной электрогеометрической модели поражаемости линий, основные выводы которой с дополнительным учетом эффекта метеорологического экранирования не противоречат опытным данным.

3. Отсутствие грозовых отключений на линии без троса при ударах молнии в линию, а также распределение поражений между пролетом и опорами для линии с тросом говорит о возможности развития значительной части разрядов с возникновения длинных

встречных лидеров от опор к облаку. Этот вывод требует для своего подтверждения дополнительных исследований.

4. Внесенные в существующую методику расчетов грозоупорности линий изменения, учитывающие особенности горных районов, позволили автору получить расчетные характеристики грозоупорности и разработать методику выбора грозозащиты горных линий.

5. Грозозащита горных линий может быть существенно облегчена. Значительная часть линий в условиях Киргизии может сооружаться без грозозащитного троса. Сопротивления заземления опор на горных линиях с тросом могут быть увеличены более чем в четыре раза при условии нормальной грозоупорности линий и обеспечиваются железобетонными фундаментами опор в грунтах с высоким удельным сопротивлением (более 300 ом·м).

В ходе выполнения настоящей работы системой Киргизглавэнерго был осуществлен ряд мероприятий по упрощению строительства и эксплуатации грозозащиты на линиях, в результате которых была получена экономия около 400 тыс. руб.

6. Опыт эксплуатации высоковольтных сетей Киргизии подтверждает возможность снижения требований к грозозащите линий. На линиях напряжением 110 кв среднее за 12 лет число грозовых отключений на 100 км длины составило: без грозозащитного троса (935 км х лет эксплуатации) — 0,22, с тросом (8740 км х лет эксплуатации) — 0,023 отключений в год. Грозовая аварийность в сетях 6–10 кв оказалась в 4–6 раз выше, чем в условиях Европейской части СССР.

7. Положительный опыт эксплуатации горных линий Киргизии напряжением 110 кв, построенных по рекомендациям автора без грозозащитного троса и с тросом, но без искусственных заземлителей опор, указывает на необходимость расширения эксперимента на линиях более высоких классов напряжения.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Ваземления опор горных линий электропередачи, Сборник докладов на Всесоюзной конференции по заземлениям, изд-во Харьковского университета, 1966 (соавтор - Лифшиц Г.Л.).
2. Фундаменты опор линий электропередачи в качестве заземлителей, "Электрические станции", 1967, № 7 (соавторы - Давыдов И.А., Лифшиц Г.Л.).
3. Некоторые вопросы грозоупорности горных линий электропередачи, "Электричество", 1967, № 9 (соавтор-Лифшиц Г.Л.).
4. Анализ причин отключений линий электропередачи 110 кв Киргизии, Научно-техническое совещание энергетиков Киргизии, тезисы докладов, Фрунзе, 1967 (соавторы - Лифшиц Г.Л., Потанова М.М.).
5. Опыт эксплуатации горных линий электропередачи Киргизии, IY научно-техническое и координационное совещание по высокогорным электропередам, 24-26 сентября 1968 года, тезисы докладов и сообщений, Фрунзе, 1968 (соавтор - Лифшиц Г.Л.).
6. Грозопоражаемость и заземление горных линий, там же (соавтор - Лифшиц Г.Л.).
7. Электрогеометрическая модель поражаемости линий, Научно-техническая конференция энергетиков Киргизии, тезисы докладов, Фрунзе, 1970.
8. Грозопоражаемость горных линий, там же.
9. Опыт эксплуатации грозозащиты сетей 6-10 кв Киргизии, Труды Фрунзенского политехнического института, вып. 48, Фрунзе, 1971 (соавторы - Лифшиц Г.Л., Чернявокий Б.Г.).
10. Об эксплуатационном контроле заземлений опор линий электропередачи напряжением 110 кв и выше, там же (соавтор - Лифшиц Г.Л.).

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ 20/XI 1973 Г. ФОРМАТ БУМАГИ
60x90^{1/16}. ОБЪЕМ 1,5 П Л. Д-02895 ЗАКАЗ 5026.
ТИРАЖ 160 ЭКЗ.

Г. ФРУНЗЕ, ТИП. АН КИРГИЗ. ССР
УЛ. ПУШКИНА, 144