

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ СССР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени В. М. МОЛОТОВА

П. А. ДОЛИН

На правах рукописи

ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТАХ
НА ВОЗДУШНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ
ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ БЕЗ СНЯТИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

І. ВВЕДЕНИЕ

В директивах XIX съезда КПСС по пятому пятилетнему плану развития СССР большое внимание уделено необходимости дальнейшего улучшения методов производства, внедрения новой техники и прогрессивной технологии, а также дальнейшего улучшения охраны труда.

В связи с этим большое значение приобретает выявление и изучение безопасных условий работы при новых методах производства и, в частности, при новом способе ремонта воздушных электрических линий высокого напряжения — без снятия напряжения.

В настоящее время в энергосистемах СССР освоено большое количество работ по ремонту ЛЭП 35—220 кв без снятия напряжения.

К ним относятся работы по ремонту опор — окраска, антисептирование, ревизия, ремонт и замена деталей, окраска и замена тросов, установка и снятие разрядников, а также работы, требующие прикосновения к проводу, — снятие набросов с проводов, ревизия и замена гирлянд, провода, арматуры и пр.

Существующая отчетность показывает, что количество выполненных работ на неотключенных линиях из года в год возрастает.

Опытом установлено, что из общего объема работ, производимых при ремонте воздушных линий 35—220 кв, до 80—90% может быть выполнено без снятия напряжения.

Применение этого метода дает большую экономию, основными составляющими которой являются:

- а) предотвращение недоотпуска энергии потребителям и
- б) предотвращение увеличения потерь электроэнергии, неизбежных при отключении ремонтируемых ЛЭП и переводе питания потребителей на оставшиеся в работе линии.

Возможность производить ремонт линий без снятия напряжения позволяет, кроме того:

- а) не снижать надежность питания энергией потребителей;

б) иметь меньшее количество резервных линий, необходимых при ремонтах со снятием напряжения;

в) ремонтировать линию по мере выявления дефектов, не накапливая повреждения;

г) производить работы при участии небольшого количества персонала, т. е. в разное время на разных участках линии.

Работы на линиях без снятия напряжения могут быть разделены на 2 вида:

1) не требующие прикосновения к проводу — ремонт опор, троса и т. п. и

2) требующие прикосновения к проводу, находящемуся под напряжением.

Работы первого вида не имеют принципиального отличия от подобных работ, проводимых со снятием напряжения.

Работы второго вида требуют новых условий и приемов их выполнения.

В основу метода ремонта ЛЭП без снятия напряжения с прикосновением человека к проводу положен принцип изоляции человека от земли и от предметов, имеющих иной, чем провод потенциал.

Чтобы исключить воздействие на человека токов утечки и емкости, тело человека шунтируется металлическим проводником, который, будучи присоединен одним концом к металлической площадке, уложенной поверх изолирующего устройства и служащей для размещения на ней человека, вторым концом присоединяется к проводу линии.

Такой принцип работы с прикосновением к проводу, находящемуся под напряжением, (разработанный советскими энергетиками—лауреатами сталинской премии—Астаховым Н. П., Григорьевым Ю. Е., Понедилко А. И. и Скобелевым С. А.), опробован в опытных и производственных условиях на ЛЭП 35—220 кв и с 1944 г. разрешен к применению ЦК профсоюза и Министерством электростанций и электропромышленности СССР.

В настоящее время устройства, изолирующие человека от земли, изготавливаются в виде лестниц, площадок и люлек из дельта-древесины (ГОСТ 226—46), представляющей собой особый вид фанеры и обладающей высокими механическими и электроизоляционными свойствами. Из этого же материала изготавливаются и вспомогательные изолирующие приспособления, применяемые при этих работах, — тяги, захваты и пр.

Условия производства работ на ЛЭП без снятия напряже-

ния регламентированы специальными «Правилами безопасности при работах на линиях без снятия напряжения» (Госэнергоиздат, 1951 г.).

Требования этих правил выработаны на основе лишь практического опыта, без проведения исследовательских работ.

В результате этого основные положения, обуславливающие безопасность лиц, производящих работы на ЛЭП без снятия напряжения, остаются неуточненными или невыясненными.

Целью настоящей работы является выявление и определение основных условий безопасности при работах на воздушных линиях высокого напряжения без снятия напряжения.

II. Анализ условий возникновения опасности поражения током при работе на неотключенной ЛЭП

При работах на линиях без снятия напряжения основной опасностью для работающих является возможность поражения током, обусловленная рядом различных причин.

Эта опасность в основном устраняется, если разрядные напряжения изоляции линии относительно земли на месте работы людей, разрядные напряжения изоляции устройств и приспособлений, с помощью которых производятся работы, и разрядные напряжения воздушного промежутка между человеком, работающим с заземленной опоры, и проводом, а также между человеком, работающим с изолирующего устройства, и заземленными частями линии, — будут выше максимально возможных значений напряжений проводов линии относительно земли на месте работы людей.

Эти максимально-возможные значения напряжений обусловлены не рабочим напряжением линии, а внутренними и атмосферными перенапряжениями, которые могут возникнуть в период работы людей на линии на месте производства работ.

Максимальные значения внутренних перенапряжений приняты равными $4 U_{ф}$.

Максимальные значения атмосферных перенапряжений на месте работы определены расчетом, исходя из следующих условий:

1. Наибольшее значение амплитуды волны перенапряжения на месте ее возникновения равно импульсной прочности изоляции проводов линии относительно земли.

2. Зависимость амплитуды волны U (кв макс) от пройденного ею расстояния l (км) и первоначального значения ее амплитуды U_0 выражается следующим уравнением:

$$\ln U = \ln U_0 - \left[\left(0,5 + \frac{0,038 \cdot U_0}{h'_n} \right) \cdot l + \left(\frac{l \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\rho_3}}{16 \cdot h'_n \cdot z} \right)^2 \right] \cdot 0,01733,$$

где: h'_n — высота подвеса провода (м);
 ρ_3 — удельное сопротивление земли (ом. м);
 z — волновое сопротивление провода (ом).

Уравнение это получено из выражения для учета удлинения фронта волны под влиянием импульсной короны, рекомендуемого проектом «Р. У. по защите от перенапряжений электрических установок переменного тока 3—220 кв», уравнения, учитывающего удлинение фронта волны под влиянием сопротивления земли, и уравнения длиной (40 мксек) волны с прямоугольным фронтом.

Значения амплитуд волн, вычисленные по приведенному уравнению, оказываются выше действительных значений. Однако, эту ошибку можно условно рассматривать как некоторый коэффициент, повышающий условия безопасности лиц, работающих на линии.

3. В период пребывания людей на линии ближайший от места работы грозовой разряд в линию может произойти на расстоянии равном минимальной дальности слышимости грома — 20 км.

Результаты расчета сведены в таблицу.

Максимальные значения амплитуд блуждающих волн атмосферного перенапряжения (в кв. макс.), достигших места работы людей (для линий с типовыми опорами и изоляцией)

Материал опор и наличие тросов	Номинальное напряжение линии, кв		
	35	110	220
Металл, с тросами	220	400	770
Дерево, с тросами	400	530	—
Дерево, без тросов	720	720	—

Волны с такими амплитудами могут возникнуть в линии на месте работы людей лишь в случае, если одновременно совпадут следующие 2 условия:

1) разряд молнии произойдет в точку линии, отстоящую от места работы людей на 20 км;

2) ток молнии окажется достаточным для возникновения на линии в точке разряда волны с амплитудой, равной или большей импульсной прочности нормальной изоляции линии относительно земли.

Для оценки степени опасности атмосферных перенапряжений для лиц, работающих на ЛЭП, была вычислена вероятность появления на месте работы людей на линии волны с максимально возможной амплитудой. Порядок этого вычисления подобен известному порядку вычисления грозоупорности линий, за исключением того, что в данном случае учитывалась полная изоляция провода относительно земли, как обуславливающая максимальную амплитуду волны, и не учитывалась вероятность перехода импульсного перекрытия в дугу, т. е. не принималась во внимание возможность и вероятность отключения линий вследствие импульсных перекрытий, так как опасность поражения током работающих может существовать и после отключения линии от источника рабочего напряжения.

Кроме того принималось, что точка линии, удар молнии в которую может вызвать на месте работы людей волну с максимальной амплитудой, представляет собой участок линии длиной 2 км, с границами, отстоящими от места работы на 20 и 22 км.

Результаты подсчета приведены в таблице.

Период (в годах) в течение которого возможен случай появления на линии на месте работы людей волны атмосферного перенапряжения с максимальной амплитудой

Материал опор и наличие тросов	Номинальное напряжение линии, кв		
	35	110	220
Металл, с тросами	22	169	1730
Дерево, с тросами	250	1930	—
Дерево, без тросов	11	13	—

III. Определение минимально-допустимой изоляции линии на месте работ по условиям безопасности

На месте производства работ изоляция линии может быть значительно понижена против нормального уровня, вследствие наличия в гирлянде дефектных изоляторов, что нередко является причиной ремонта линии в этом месте.

Однако, электрическая прочность этой пониженной изоляции должна быть достаточно высокой, чтобы была исключена возможность перекрытия ее при возникновении на линии на месте работы атмосферных и внутренних перенапряжений и тем самым устранена одна из причин поражения током людей, работающих на линии.

Для того, чтобы выяснить следует ли учитывать дефектные изоляторы при определении минимально-допустимой изоляции линии на месте работ, автором были проведены экспериментальные работы по определению влияния на величину разрядного напряжения гирлянды наличия в ней нулевых и неполноценных изоляторов.

В программу испытаний входило определение зависимости разрядных напряжений — импульсного и при 50 гц гирлянды (составленной из 4-х изоляторов П-4,5) от числа и места расположения в ней нулевых и неполноценных изоляторов.

Оценка импульсной прочности гирлянды производилась по 50%-ному импульсному разрядному напряжению при стандартной волне 1,5/40 мксек отрицательной полярности с помощью ГИНа 1000 кв и емкостью в разряде 0,01 мкф.

Разрядное напряжение при промышленной частоте определялось с помощью испытательной установки — трансформатора 300 кв, 250 ква, питаемого от двигатель-генератора.

Испытаниями было установлено, что место расположения дефектного изолятора в гирлянде влияет на величину разрядного напряжения ее: гирлянда, состоящая из 4 элементов (1 дефектный и 3 полноценных) имеет наибольшие разрядные напряжения при расположении дефектного изолятора третьим от траверсы. При этом увеличение разрядного напряжения по отношению к остальным случаям составляет 3—4% при импульсах и 5—6% при 50 гц.

Установлено также, что дефектные изоляторы, дополнительно включенные в гирлянду, составленную из полноценных изоляторов, повышают ее разрядные напряжения.

При этом для 4-х элементной гирлянды наибольшее повышение разрядного напряжения полноценной части ее наблю-

дается в случае наличия в ней двух дефектных и двух полноценных изоляторов и равно 15—16% при неполноценных и 1—9% при нулевых изоляторах; меньшие цифры соответствуют испытаниям при импульсах, большие — при 50 гц.

Вследствие относительно небольшого повышения разрядных напряжений гирлянды за счет дефектных изоляторов, минимально допустимый уровень изоляции линии был определен с учетом лишь полноценной части гирлянды, полагая, что остальные изоляторы — нулевые или неполноценные — не обладают электрической прочностью. При этом использовались ранее вычисленные максимально возможные значения перенапряжений в линии на месте работы людей.

Результаты сведены в таблицу.

Минимально-допустимое по условиям безопасности число исправных изоляторов (типа П-4,5) в гирлянде линии на месте работы людей

Номинальное напряжение линии, кв	Материал опор	
	металл	дерево
35	2	2
110	5	4
220	9	8

IV. Определение минимально-допустимых длин по изоляции изолирующих приспособлений по условиям безопасности

Изоляция приспособлений — лестниц, площадок, тяг, захватов и пр., с помощью которых производятся работы на линиях без снятия напряжения, должна обладать электрической прочностью, исключающей возможность перекрытия ее при длительном воздействии рабочего напряжения линии, а также при атмосферных и внутренних перенапряжениях, могущих возникнуть в линии на месте производства работ.

Электрические характеристики дельта-древесины, из которой в настоящее время изготавливаются изолирующие приспособления, выяснены крайне недостаточно.

В частности, остаются неизвестными основные свойства дельта-древесины, обуславливающие возможность применения

ее в качестве материала для изготовления изолирующих приспособлений для работ под напряжением: разрядные напряжения по поверхности при промышленной частоте и при импульсах, а также величины токов утечки в зависимости от величины и длительности приложения напряжения.

С целью выяснить эти характеристики автором были проведены экспериментальные работы. При этом для того чтобы условия этих работ были по возможности близки условиям, которые могут возникнуть на ЛЭП в период использования устройств, изготовленных из дельта-древесины, испытания проводились при больших значениях испытательных напряжений с использованием образцов большой длины (до 3,5 м).

В результате этих работ установлены:

1. Зависимость разрядного напряжения по поверхности дельта-древесины от длины поверхности при напряжении промышленной частоты, выражающаяся следующим уравнением:

$$U_{cp} = 6,5 \cdot l^{0,877},$$

где: U_{cp} — сухоразрядное напряжение, в кв эфф;
 l — длина поверхности дельта-древесины, в см.

2. Зависимость 50%-ного импульсного разрядного напряжения при полной стандартной волне (1,5/40 мксек) по поверхности дельта-древесины от длины поверхности:

$$U_{50\%} = 20 \cdot l^{0,77} \text{ — при отрицательной волне;}$$

$$U_{50\%} = 18,5 \cdot l^{0,77} \text{ — при положительной волне.}$$

3. Зависимость разрядного напряжения по поверхности дельта-древесины при постоянном напряжении:

$$U = 7,1 \cdot l^{0,938} \text{ — при положительной полярности;}$$

$$U = 7,5 \cdot l^{0,938} \text{ — при отрицательной полярности.}$$

4. Зависимость разрядного напряжения от состояния поверхности образца дельта-древесины (полированная, покрытая лаком, полированный слой удален).

5. Зависимость тока утечки по дельта-древесине от градиента напряжения промышленной частоты, приложенного к образцу.

6. То же, от длительности действия напряжения промышленной частоты, приложенного к образцу.

На основе этих зависимостей, а также вычисленных ранее максимально возможных значений перенапряжений на линии

на месте работ и с учетом конструкции и назначения изолирующих приспособлений, были определены по условиям безопасности минимально-допустимые длины по изоляции этих приспособлений.

Результаты сведены в таблицу.

Минимально-допустимые по условиям безопасности длины по изоляции приспособлений, изготавливаемых из дельта-древесины ДСП-10 сорта А и предназначенных для работ на ЛЭП без снятия напряжения (в см)

Приспособление	Номинальное напряжение линии, кв		
	35	110	220
Лестница, площадка и т. п.	200	200	300
Тяга, захват и т. п.	60	150	250

V. Определение минимально-допустимого воздушного промежутка между человеком и частями ЛЭП по условиям безопасности

Для определения минимально-допустимого воздушного промежутка были использованы вычисленные максимально возможные значения перенапряжений на ЛЭП на месте ремонта и разрядные напряжения воздушных промежутков при промышленной частоте и импульсах.

При этом:

- 1) за исходные данные были приняты максимально возможные значения перенапряжений на заземленных опорах;
- 2) было принято, что разряд происходит между стержнями, из которых один заземлен;
- 3) значения разрядных напряжений воздушного промежутка в зависимости от расстояния между электродами были взяты из литературы.

В полученные значения воздушных промежутков был введен коэффициент запаса 1,5.

Результаты сведены в таблицу.

Максимально-допустимые расстояния между человеком, работающим с опоры, и проводом, а также между человеком, работающим с изолирующего устройства и заземленными частями линии по условиям безопасности

Номинальное напряжение линии, кв	Минимально-допустимый воздушный промежуток, м
35	0,7
110	1,0
220	2,0

VI. В В Ы В О Д Ы

Практическими результатами настоящей работы являются следующие положения, на основании которых могут быть внесены дополнения и изменения в действующие «Правила безопасности при работах на линиях без снятия напряжения» и «Правила пользования и испытания защитных средств, применяемых в электротехнических установках».

1. При работах на линиях без снятия напряжения число исправных изоляторов П-4,5 в гирлянде на месте работы должно быть не меньше:

- 2 — на ЛЭП 35 кв с металлическими опорами
- 5 — на ЛЭП 110 кв с металлическими опорами
- 9 — на ЛЭП 220 кв с металлическими опорами
- 2 — на ЛЭП 35 кв с деревянными опорами
- 4 — на ЛЭП 110 кв с деревянными опорами
- 8 — на ЛЭП 220 кв с деревянными опорами

2. Изолирующие приспособления, изготовленные из дельта-древесины и предназначенные для работ на воздушных ЛЭП без снятия напряжения, должны иметь длины по изоляции не менее следующих значений:

лестница, площадка и т. п.

- для ЛЭП 35 — 110 кв — 200 см
- 220 кв — 300 см

тяги, захват и т. п.

для ЛЭП 35 кВ — 60 см

для ЛЭП 110 кВ — 150 см

для ЛЭП 220 кВ — 250 см

3. Расстояние по воздуху между человеком, работающим с опоры, и проводом, а также между человеком, работающим с изолирующего приспособления, и заземленными частями опоры должно быть не менее:

0,7 м на ЛЭП 35 кВ

1,0 м на ЛЭП 110 кВ

2,0 м на ЛЭП 220 кВ

4. Во время грозы запрещается производство любых работ на линиях без снятия напряжения и пребывание людей рядом с опорами.

При первых раскатах грома или при обнаружении других признаков возникновения грозы все работы на линии должны быть немедленно прекращены и люди удалены за край трассы.

5. При работах на бестросовых линиях с деревянными опорами, т. е. не имеющими заземляющих спусков, применение стальных канатов запрещается.

6. В период работы на линиях без снятия напряжения не рекомендуется производить оперативные переключения на этой линии.

7. Изолирующие приспособления для работ на воздушных ЛЭП без снятия напряжения, изготовленные из дельта-древесины, должны подвергаться электрическим испытаниям через каждые 6 месяцев.

Испытание должно производиться путем приложения на всю длину изоляции изолирующего устройства испытательного напряжения промышленной частоты.

Испытательное напряжение для изолирующих устройств номинального напряжения 35 кВ должно быть равно трехкратному линейному напряжению, т. е. 105 кВ, а для устройств 110 и 220 кВ — трехкратному фазному, т. е. 190 кВ и 380 кВ соответственно.

Изолирующее приспособление считается выдержавшим испытание, если во время нахождения его под напряжением не возникнут на его поверхности скользящие разряды, не будет слышно потрескиваний, а после испытания, при ощупывании изоляции приспособления рукой, не будут обнаружены общие или местные нагревы ее.

Л 79349 30/V—1953 г.

Объем $\frac{3}{4}$ п. л.

Зак. 958. Тир. 100—1.

Типография МЭИ