

Ысык-Кульский государственный университет  
им. К. Тыныстанова

Физико – технический факультет

Кафедра: «Физики и электроснабжения»

## **Методическое руководство**

**по выполнению курсового проекта по дисциплине:  
«Передача и распределение электрической энергии»**

КАРАКОЛ - 2015

УДК 621.31  
ББК 31.19  
М 54

Рекомендовано к изданию решением  
Учебно-методического совета (протокол № 8  
от 27.04.2015 г.) Ысык-Кульского  
государственного университета  
им. К.Тыныстанова

Рецензенты: доц., канд. физ.-мат. наук, Бейшекеева Г.Дж.,  
доц., канд. физ.-мат. наук, Жамангулов А.А.

М 54 Методическое руководство по выполнению курсового проекта по дисциплине: «Передача и распределение электрической энергии». /Сост. У.С.Торубаева, З.В.Докомбаев. – Каракол: 2015. – 84 С.

ISBN 978-9967-454-68-2

Настоящее руководство по выполнению курсового проектирования по дисциплине: «Передача и распределение электрической энергии» составлено в соответствии с программой для высших учебных заведений.

Дисциплина: «Передача и распределение электрической энергии» включена в программу обучения студентов специальностей «Электро-снабжение». Для закрепления теоретических знаний, полученных в этом курсе, студенты выполняют курсовой проект «Механическая часть воздушных ЛЭП».

При выполнении указанного курсового проекта студенты изучают основы проектирования механической части воздушных ЛЭП, получают навыки пользования справочными материалами и нормативными документами, а также навыки выполнения самостоятельных инженерных расчетов.

В руководстве рассмотрены основные этапы проектирования механической части воздушных ЛЭП, приведены краткие теоретические сведения по конструкции проводов и грозозащитных тросов, различных типов опор, их фундаментов, изоляторов и линейной арматуры, а также способы расчета этих конструкций. В приложении приведены необходимые справочные и информационные материалы, варианты заданий для курсового проекта.

Пособие состоит из 9 разделов и приложения. Все разделы снабжены примерами расчётов, которые могут служить основой для выполнения студентами курсового проекта и практических занятий.

М 2201000000-15  
ISBN 978-9967-454-68-2

УДК 621.31  
ББК 31.19

© составители: Торубаева У.С.,  
Докомбаев З.В.

@: БГУ им. К.Тыныстанова, 2015

## 1. Провода и грозозащитные тросы воздушных линий

На воздушных линиях электропередачи (ВЛ) подвешиваются голые (неизолированные) провода, состоящие из одной или нескольких проволок. Провода из одной проволоки – однопроволочные – имеют меньшую прочность и в настоящее время применяются на ВЛ до 1000 В. Многопроволочные провода, свитые из нескольких проволок, используются на всех напряжениях.

К материалу проводов предъявляют следующие требования: высокую электрическую проводимость (наилучшую имеют медь, бронза и алюминий), достаточную прочность (сталь), антикоррозионную стойкость (медь, бронза). Вместе с тем медь является дорогим и дефицитным металлом, поэтому медные провода в настоящее время не применяются. Основными материалами для проводов служат алюминий и сталь, из них изготавливают алюминиевые и комбинированные сталеалюминевые провода, свитые из стальных и алюминиевых проволок. Эти провода обладают большой гибкостью и могут быть выполнены любого необходимого сечения. Диаметры отдельных проволок и их число подбираются так, чтобы сумма поперечных сечений отдельных проволок дала требуемое общее сечение провода. Чаще всего в центре многопроволочного провода размещается либо одна проволока, либо с навитыми вокруг центральной стальными проволоками такого же сечения. Таких навитых слоев проволок на центральную проволоку – повивов – может быть несколько. При одной проволоке в центре и равном диаметре (сечении) всех проволок, первый повив имеет шесть проволок, каждый последующий – на шесть больше, чем предыдущий, таким образом, при одном повиве провод состоит из 7 проволок, при двух – из 19, при трёх – из 37.

После скрутки каждая проволока, кроме центральной, располагается по винтовой линии. Для придания проводу круглой формы, и для предотвращения раскручивания смежные повивы скручиваются в противоположных направлениях. Скрученные проволоки, естественно, имеют большую длину, чем длина провода, измеренная по его оси, и это обуславливает увеличение его физической массы по сравнению с теоретической. Кроме того, снижается разрывная прочность многопроволочного провода.

Алюминиевые провода изготавливаются только из алюминиевых проволок, у сталеалюминевых центральная проволока и несколько ближайших к ней повивов изготавливаются из стали, что придает проводу прочность, а верхние повивы – из алюминия, что обеспечивает достаточно высокую электропроводность (рис. 1.1). Провода изготавливаются в соответствии с требованиями действующих стандартов, согласно которым основными марками провода являются А – алюминиевые и АС – сталеалюминевые провода. Добавляемые к этому буквенному обозначению символы характеризуют дополнительные конструктивные особенности провода. Например, марка алюминиевого провода АКП означает, что меж проволочное

пространство всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой, защищающей провод от коррозии, то есть провод АКП имеет повышенную коррозионную стойкость. Выпускаются также сталеалюминевые провода марок АСКС и АСК, обладающие повышенной коррозионной стойкостью.

На находящихся в эксплуатации ВЛ еще можно встретить обозначения по старому ГОСТу проводов марок АСО – облегченной, АСУ – усиленной и АСУС – специально усиленной конструкции, но в настоящее время эти обозначения отменены.

По ГОСТ-839-80 принято обозначать сечение алюминиевой и стальной частей провода дробью, числитель которой показывает сечение алюминиевой части, а знаменатель – стальной (с округлением) в мм<sup>2</sup>. Так, провод АС150/24 обозначает сталеалюминевый провод с сечением алюминиевой части 149 мм<sup>2</sup> и стального сердечника 24,2 мм<sup>2</sup>.

Провода сечением до 95 мм<sup>2</sup> выполняются с одно проволочным стальным сердечником и одним повивом алюминиевых проволок, отношение сечений алюминия и стали в этих проводах равно шести. Провода сечением 95-400 мм<sup>2</sup> изготавливаются при соотношении сечений 6,11-6,25 многопроволочным стальным сечением и двумя алюминиевыми повивами.

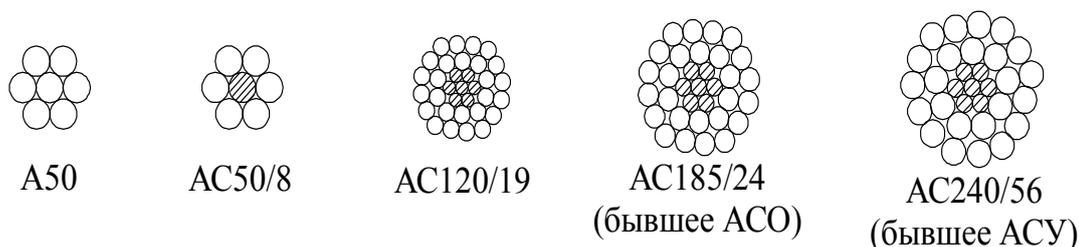


Рис. 1.1. Конструкции алюминиевых и сталеалюминевых проводов

При почти одинаковом сечении алюминиевой части изменение сечений стальной части приводит к конструкциям, значительно отличающимся друг от друга массой и прочностью, что обуславливает соответствующую область применения. В табл. 1.1 приведено сравнение параметров сталеалюминевых проводов (в скобках приведена старая маркировка провода).

Таблица 1.1

Марка провода	АС300/39 (АСО–300)	АС300/48 (АС –300)	АС300/66 (АСУ–300)	АС300/204 (АСУС–300)
Сечение, мм <sup>2</sup> :				
алюминиевой части	301	295	288	298
стальной части	38,6	47,8	65,8	204
Отношение сечений	7,81	6,16	4,39	1,46
Масса, кг/м	1,132	1,186	1,313	2,428
Разрывное усилие, даН	8935	9969	12191	27398

Алюминий и сталь имеют различные механические характеристики. Практический расчет сталеалюминевых проводов ведется по характеристикам, приведенным к проводу в целом, то есть формально провод считается выполненным из одного материала. Основными характеристиками являются модуль упругости  $E$ , температурный коэффициент линейного удлинения  $\alpha$ , допустимое напряжение  $[\sigma]$ . Физико-механические характеристики сталеалюминевых проводов, применяемых на ВЛ 35-220 кВ, приведены в таблице А1 приложения А.

В качестве грозозащитного троса на ВЛ используются стальные канаты, изготовленные из оцинкованной проволоки, обозначаемые, согласно ГОСТ-3063-80 буквами ТК, за которыми следует цифра, означающая сечение троса. На ВЛ 35, 110, 220 кВ подвешиваются тросы с номинальным сечением 35, 50, 70 мм<sup>2</sup> соответственно. Физико-механические характеристики грозозащитных тросов приведены в таблице Б1 приложения Б.

В настоящее время разработаны различные модификации грозозащитных тросов, содержащих встроенный оптический кабель, который используется в качестве линии связи. Верхний повив у таких кабелей, содержит стальные проволоки, плакированные алюминием, и проволоки из алюминиевого сплава, а внутренняя часть представляет собой собственно оптоволоконный кабель. Поскольку такой трос выполняет две функции, причем канал связи в таком исполнении является наиболее оптимальным по надежности, то, несмотря на значительные затраты на изготовление и монтаж этих тросов, на вновь проектируемых ВЛ 220 кВ и выше в настоящее время располагают именно их.

В расчётно-пояснительной записке к курсовому проекту следует привести в табличном виде характеристики заданных провода и троса и в виде рисунков представить их конструкции.

## **2. Опоры воздушных линий электропередачи**

Опоры ВЛ предназначены для обеспечения требуемых расстояний между фазами и землей. Горизонтальное расстояние между центрами двух соседних опор одной линии называется пролетом. Различают переходный, промежуточный и анкерный пролеты. Анкерный пролет обычно состоит из нескольких промежуточных.

### **2.1 Типы опор**

По числу цепей опоры классифицируются на одноцепные и двухцепные. ВЛ, имеющая две цепи, выполненная на двухцепных опорах, дешевле, чем две параллельные линии, выполненные на одноцепных опорах, и может быть сооружена в более короткий срок.

Опоры ВЛ делятся на две основные группы: промежуточные и анкерные. Кроме того, выделяют угловые, концевые и специальные опоры.

Промежуточные опоры устанавливают на прямых участках трассы. В нормальном режиме они воспринимают вертикальные нагрузки от массы проводов, изоляторов, арматуры и горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода и опоры. При обрыве одного или нескольких проводов промежуточные опоры воспринимают дополнительную нагрузку, направленную вдоль линии, и подвергаются кручению и изгибу. Поэтому они изготавливаются с определенным запасом прочности. Число промежуточных опор на ВЛ составляет до 80 %.

Анкерные опоры устанавливают на прямых участках трассы для перехода ВЛ через инженерные сооружения или естественные препятствия. Их конструкция жестче и прочнее, так как они воспринимают продольную нагрузку от разности тяжения проводов и тросов в смежных анкерных пролетах, а при монтаже – от тяжения подвешенных с одной стороны проводов.

Угловые опоры устанавливаются на углах поворота трассы ВЛ. Углом поворота линии называется угол в плане линии (рис. 2.1), дополняющий до  $180^{\circ}$  внутренний угол линии. Если угол поворота трассы меньше  $20^{\circ}$ , устанавливают угловые промежуточные опоры, если больше  $20^{\circ}$  – угловые анкерные (рис. 2.1).

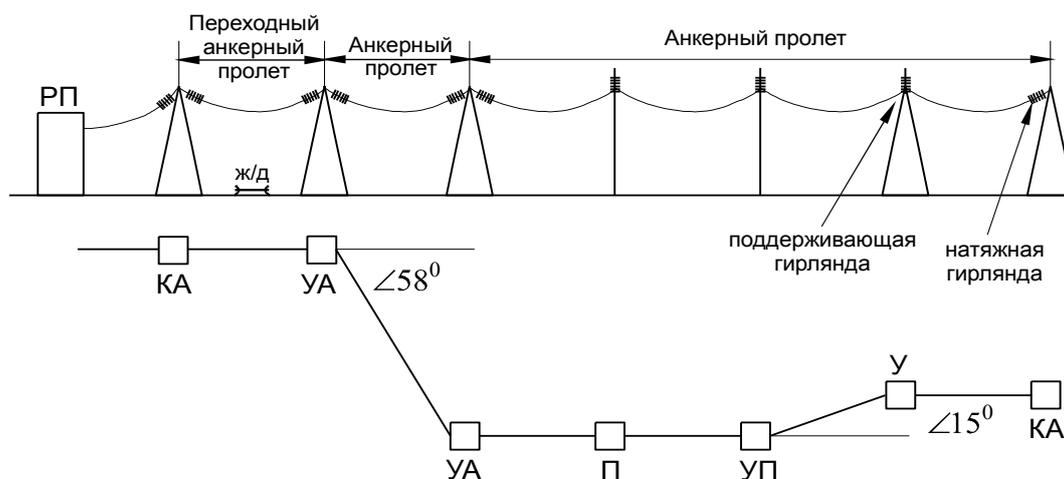


Рис. 2.1. План и профиль участка ВЛ:

*А – анкерная опора, П – промежуточная опора, УП – угловая промежуточная опора, УА- угловая анкерная опора, КА- конечная анкерная опора.*

Концевые опоры являются разновидностью анкерных и устанавливаются в конце и начале линии. В нормальных условиях работы они воспринимают нагрузку от одностороннего тяжения проводов.

К специализированным относят транспозиционные опоры, конструкция которых позволяет изменить порядок расположения проводов на опоре; ответвительные - для устройства ответвления от магистральной линии

и т.д.

## 2.2 Материал опор

Согласно нормам технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше, рекомендуются следующие области использования различных материалов для изготовления опор.

*Деревянные опоры* (сосна, лиственница зимней рубки, для неотвественных деталей – ель, пихта) с пропиткой антисептиком применяются для одноцепных ВЛ 35 - 150 кВ там, где использование древесины экономически выгодно. Преимущество деревянных опор обусловлено их низкой стоимостью, достаточно высокой механической прочностью, высокими электроизоляционными свойствами, дешевизной. Главный недостаток – недолговечность.

*Железобетонные опоры* используются в условиях равнинной местности для одноцепных линий 35 – 220 кВ, на всех двухцепных линиях - 35 – 110 кВ, на ВЛ - 500 кВ, проходящей в равнинной местности, где металлические опоры экономически нецелесообразны. Железобетонные опоры не разрешается применять на ВЛ, проходящей в горной или сильно пересеченной местности. Железобетонные опоры обладают высокой механической прочностью, долговечны, дешевы в эксплуатации, изготовлении и сборке по сравнению с металлическими. Их недостатком является большая масса, что увеличивает транспортные расходы. В железобетонных опорах основные усилия при растяжении воспринимает стальная арматура, так как бетон плохо работает на растяжение, но при сжатии основные нагрузки воспринимаются бетоном.

Совместная работа бетона и стали обусловлена следующими их свойствами. Бетон при твердении прочно скрепляется с арматурой за счёт склеивания и трения, вызванного усадкой бетона при твердении, в результате чего происходит обжатие стержней арматуры бетоном. Вследствие этого при воздействии внешних усилий оба материала работают совместно, смежные участки бетона и стали получают одинаковые деформации. Сталь и бетон имеют примерно одинаковые коэффициенты линейного расширения, что исключает появление внутренних напряжений в железобетоне при изменениях наружной температуры. Бетон надёжно защищает арматуру от коррозии и при скачках температуры воспринимает сжимающее напряжение. Недостаток железобетона – образование в нем трещин, особенно в местах соприкосновения с грунтом. Для повышения трещиностойкости применяют предварительное напряжение арматуры, которое создает дополнительное обжатие бетона. Основными элементами железобетонных опор являются стойки, траверсы, тросостойки и ригели. На железобетонных заводах стойки изготавливают либо на центрифугах, выполняющих формовку и уплотнение бетона, либо способом вибрирования,

уплотняя бетонную смесь вибраторами. Способом центрифугирования изготавливают круглые полые конические и цилиндрические стойки, способом вибрирования – прямоугольные (ГОСТ 22387,0-85). Для двухцепных ВЛ напряжением более 35 кВ и выше используют центрифугированные стойки, имеющие маркировку СК (стойки конические) и СЦ (стойки цилиндрические). Стойки СК применяют на ВЛ 35-750 кВ двух типов: длиной 22,6 м и 26 м с соответственно верхним и нижним диаметрами 440/650 мм и 416/650 мм, изготовленные в одной унифицированной опалубке. Стойки СЦ изготавливают длиной 20 м и диаметром 800 мм. Для ВЛ 35 кВ используют вибростойки СВ длиной 16,4 м.

*Металлические опоры* применяются на двухцепных ВЛ 35-500 кВ, на одноцепных ВЛ 110, 220, 330 кВ, где невозможно или нецелесообразно применение железобетонных опор, на ВЛ 750 кВ. Основные конструкции металлических опор изготавливают из стали Ст3, наиболее напряженные узлы опор - из низколегированных сталей. Части опор подвергают заводской горячей оцинковке. Сборка опор производится с помощью болтовых соединений. Их преимущество перед железобетонными в том, что они позволяют создавать конструкции, рассчитанные на большие нагрузки и любые климатические условия, обладают высокой механической прочностью при относительно небольшой массе. Однако они достаточно дороги и подвержены коррозии. Стальные опоры могут быть по конструкции одностоечными (башенными) и порталными, а по способу закрепления на фундаментах – свободностоящими или с оттяжками.

### **2.3 Унификация опор**

По результатам многолетней практики строительства и эксплуатации ВЛ определяются наиболее целесообразные и экономичные типы и конструкции опор и систематически проводится их унификация, которая позволяет использовать единую удобную систему обозначений и классификаций. Унификация позволяет сократить общее количество типов опор, количество типоразмеров деталей опор, подобрать при необходимости рациональную замену опор или их деталей, организовать их массовое производство на специализированных заводах. Согласно унификации, для каждого типа опоры установлены условия применения: напряжение ВЛ, число цепей, район по гололеду, максимальная скорость ветра, диапазоны марок проводов, марки тросов. Последняя унификация для стальных опор проводилась в 1995-96 гг., согласно ей, расширен диапазон применяемых сечений проводов, что позволяет обеспечить оптимальную плотность тока, унифицированы длины гирлянд изоляторов, выработаны рекомендации по учёту степени загрязнения атмосферы при выборе изоляторов, внесены изменения в конструкции опор, изменены названия типов опор. По этим условиям в справочниках выбирается соответствующий тип опоры, в

наименовании которого отражены следующие признаки:

1) вид опоры: П – промежуточная, У – угловая (промежуточная или анкерная), С – специализированная;

2) материал опор: Д – дерево, Б – железобетон, для металлических опор буквенное обозначение отсутствует;

3) номинальное напряжение ВЛ;

4) типоразмер – это цифра, отражающая прочностные свойства опоры: четная цифра присвоена двуцепной опоре, нечетная – одноцепной.

Например, ПБ35-3 – промежуточная железобетонная одноцепная опора для ВЛ напряжением 35 кВ (предназначена для строительства ВЛ в III-IV районах по гололеду, скорости ветра до 30 м/с, с проводами АС95/16-АС150/24 и тросом ТК-35).

Важнейшими характеристиками ВЛ, зависящими от типа опоры, являются понятия габарита и габаритного пролёта. Габаритом Г называется наименьшее, допустимое ПУЭ, расстояние по вертикали между нижней точкой провисания провода до пересекаемых инженерных сооружений или поверхности земли, либо воды. Значения габарита определены из соображений безопасной эксплуатации ВЛ (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Характер местности	Расстояние от провода до земли (габарит), м, при номинальном напряжении ВЛ				
	до 35 кВ	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ
Ненаселенная	6,0	6,0	7,0	7,5	8,0
Населенная	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0
Труднодоступная	5,0	5,0	6,0	6,5	7,0

Габаритный пролёт – это пролёт, определяемый по условию допустимого расстояния от проводов до земли при условии установки опор на идеально ровной поверхности. Значения габаритных пролетов указываются в технических характеристиках опор.

При механическом расчёте проводов и тросов используется величина расчётного расстояния между двумя соседними опорами, так называемый расчётный пролёт. Длина расчётного пролета  $l_P$  определяется выражением:

$$l_P = \alpha \cdot l_{габ},$$

где  $l_{габ}$  - длина габаритного пролета, м.

$\alpha$  - коэффициент, значение которого рекомендуется определять в соответствии с местностью, для которой проектируется участок ВЛ:  $\alpha = 0,8$  для населённой местности,  $\alpha = 0,9$  - для ненаселенной.

При расстановке опор на идеально ровной поверхности  $\alpha = 1$ , то есть  $l_P = l_{габ}$ . Опыт проектирования показывает, что усредненное значение

пролёта вследствие неровности местности меньше габаритного.

#### 2.4 Расположение проводов и тросов на опоре

При выборе типа опоры необходимо наметить желаемое расположение проводов на опоре. С точки зрения электрических процессов в ВЛ провода желательно располагать симметрично в углах равностороннего треугольника. Но на практике при таком расположении вероятно схлестывание проводов, закрепленных в гирляндах подвесных изоляторов. Удобно использовать опоры portalного типа с горизонтальным расположением проводов в одной плоскости, но эти опоры дороги. Поэтому наиболее распространенным является размещение проводов в углах неравностороннего треугольника на одноцепных опорах (рис. 2.2).

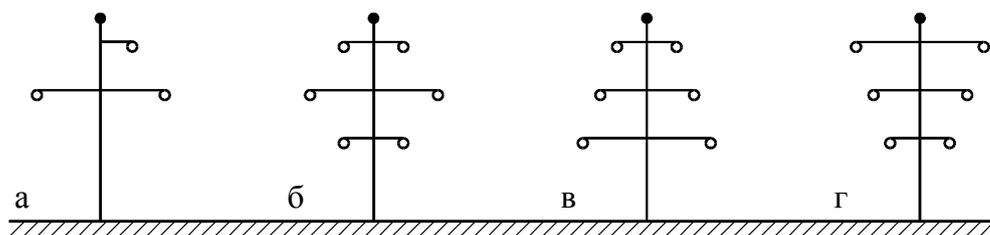


Рис. 2.2. Расположение проводов на опоре

(рис. 2.2а) и на двухцепных – в виде «бочки» (рис. 2.2 б), «прямой ёлки» (рис. 2.2 в), «обратной ёлки» (рис. 2.2 г). В особых районах по гололеду и районах с частой пляской проводов, а также на ВЛ 500 кВ и выше провода располагают горизонтально.

Согласно ПУЭ, воздушные линии напряжением 110 кВ и выше на металлических и железобетонных опорах должны быть защищены по всей длине грозозащитными тросами. Линии 35 кВ защищаются тросами только на подходах к подстанциям (на участках протяженностью 1 – 2 км). Линии 220 кВ на подходах к подстанциям (до 2-х км) защищаются двумя тросами.

Линии с расположением проводов согласно рис. 2.2, защищаются одним тросом (рис. 2.3 а), линии с горизонтальным расположением проводов – двумя тросами (рис. 2.3 б). Линии 220 и 330 кВ на опорах высотой 35–45 м иногда защищаются двумя тросами на подходах к подстанциям, а в отдельных случаях (в районах с сильной грозовой деятельностью) – по всей длине. При одном грозозащитном тросе защитный угол должен быть не более  $30^{\circ}$ , а при двух тросах – не более  $20^{\circ}$ .

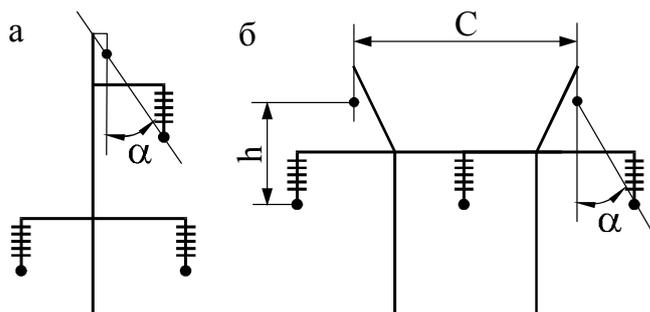


Рис. 2.3. Расположение

### *тросов на опоре*

Наименьшие расстояния между проводом и тросом в середине пролета указаны в табл. 3.1.

Конструкции железобетонных и стальных унифицированных опор в одноцепном и двухцепном исполнении приведены на рисунке В1 приложения В. Основные размеры опор, область их применения и характеристики в табл. В1 приложения В.

## **3. Расчёт проводов и тросов на механическую прочность.**

### **3.1 Расчёт ветровых и гололедных нагрузок**

Для обеспечения надежной работы ВЛ в естественных условиях необходимо учитывать скорость ветра, гололедно-изморозевые отложения и температуры воздуха в районе, где проходит трасса ВЛ. Для определения нагрузок на элементы ВЛ, согласно ПУЭ, принимаются наиболее неблагоприятные сочетания климатических условий, наблюдаемых не реже одного раза в пять лет для линий напряжением до 3 кВ, одного раза в 10 лет для линий напряжением 6-330 кВ и одного раза в 15 лет для линий напряжением 500 кВ и выше. Увеличение периодов повторяемости с ростом напряжения ВЛ объясняется большей ответственностью линий более высокого напряжения.

Расстояние от проводов (или троса) до земли меняется по длине пролета. Поэтому в расчетах используется понятие высоты приведенного центра тяжести проводов (или троса) -  $h_{np}$ . Величина  $h_{np}$ , м, определяется по формуле:

$$h_{np} = h_{cp} - \frac{2}{3}[f], \quad (3.1)$$

где  $h_{cp}$  – средняя высота подвеса проводов (или троса) на опоре, м;

$[f]$  - допустимая стрела провеса провода (или троса), м.

Значение  $h_{cp}$ , м, для проводов определяется по формуле:

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m h_i}{m} - \lambda,$$

где  $h_i$  - расстояние от земли до  $i$ -й траверсы опоры, м;

$m$  – количество проводов на опоре;

$\lambda$  - длина гирлянды изоляторов, м.

Для предварительных расчётов длины гирлянд изоляторов могут быть приняты следующими: для ВЛ 35 кВ – 0,6 м; для ВЛ 110 кВ – 1,3 м; для ВЛ 220 кВ – 2,4 м.

Значение  $h_{cp}^m$  для троса определяется высотой подвеса троса:

$$h_{cp}^m = h_2 + n \cdot h_3 + h_1,$$

где  $h_2, h_3, h_1$  - расстояния по рисунку В1 приложения, м;  $n$  - число цепей.

Допустимая стрела провеса провода, м, определяется по формуле:

$$[f] = h_2 - \lambda - \Gamma, \quad (3.2)$$

где  $h_2$  - расстояние от земли до нижней траверсы, м;

$\lambda$  - длина гирлянды изоляторов, м;

$\Gamma$  - габаритный размер, м, значения габаритного размера приведены в табл. 2.1.

Допустимая стрела провеса троса, м, определяется по формуле:

$$[f^m] = h_{cp}^m - (\Gamma + n \cdot h_3 + z), \quad (3.3)$$

где  $z$  - наименьшее допустимое расстояние по вертикали между проводом и тросом в середине пролета, м.

Расстояние  $z$  определяется ПУЭ в зависимости от расчетной длины пролета (табл. 3.1). Промежуточные значения определяются путем линейной интерполяции.

Таблица 3.1

Длина пролета $l_p, \text{ м}$	100	150	200	300	400	500	600
Расстояние $z, \text{ м}$	2,0	3,2	4,0	5,5	7,0	8,5	10,0

При определении ветровых нагрузок на провода и тросы ВЛ принято использовать не скорость ветра  $V$ , а скоростной напор ветра  $q$ , который определяется по формуле:

$$q = \frac{V^2}{16}.$$

Скоростной напор ветра представляет собой давление воздуха, движущегося со скоростью  $V$ , на один квадратный метр. По величине скоростного напора ветра вся территория бывшего СССР разделена на семь ветровых районов. Для каждого из них в ПУЭ указаны нормативные значения скоростного напора на высоте 15 м от поверхности земли (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Район по ветру	Нормативное значение $q$ , даН/м <sup>2</sup> , при повторяемости	
	1 раз в 5 лет	1 раз в 10 лет
1	27	40
2	35	40
3	45	50
4	55	65
5	70	80

Поскольку скорость ветра увеличивается с увеличением высоты, то для  $h_{np} \leq 15$  м значения берутся непосредственно из табл. 3.2. При  $h_{np} > 15$  м вводится поправочный коэффициент. Значения этого ко-

6	85	100
7	100	125

эфициента приведены в ПУЭ и табл. 3.3.

Таблица 3.3

Высота $h_{np}$ , м	до 15	20	40	60	100	200	350 и выше
Коэффициент $k_B$	1,0	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1

Таким образом, максимальное значение скоростного напора ветра определяется так:

$$q_{max} = q \cdot k_B, \quad (3.4)$$

где  $q$  – нормативный скоростной напор ветра из табл. 3.2.

Отложения гололеда, изморози и мокрого снега на проводах и тросах ВЛ имеют различную форму (рис. 3.1 а). Эти отложения регистрируются на метеостанциях, взвешиваются и приводятся к эквивалентной массе гололеда круглой цилиндрической формы с плотностью  $900 \text{ кг/м}^3$  (рис. 3.1 б). Толщина стенки  $C$  этого цилиндра является исходной величиной для определения интенсивности гололедообразования в данном районе.



**Рис 3.1. Гололедообразование на проводах ВЛ**

По толщине стенки гололеда вся территория бывшего СССР разделена на четыре района и особый район. В ПУЭ и табл. 3.4 приведены значения нормативной толщины стенки гололеда  $C$  для различных районов.

Таблица 3.4

Район по гололеду	Нормативное значение $C$ , мм, при повторяемости	
	1 раз в 5 лет	1 раз в 10 лет
1	5	5
2	5	10
3	10	15
4	15	20
особый	20 и более	более 22

Для  $h_{np} \leq 25$  м значения  $C$  берутся непосредственно из табл. 3.4. При  $h_{np} > 25$  м вводятся поправочные коэффициенты на высоту  $k_{Г1}$  (табл. 3.5) и диаметр провода (или троса)  $k_{Г2}$  (табл. 3.6).

Таблица 3.5

Высота $h_{np}$ , м	до 25	30	50	70	100	200
Коэффициент $k_{Г1}$	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0

Таблица 3.6

Диаметр провода (или троса) $d$ , мм	5	10	20	30	50	70
Коэффициент $k_{Г2}$	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Таким образом, максимальное значение толщины стенки гололеда при  $h_{np} > 25$  м определяется так:

$$C_{max} = k_{\Gamma 1} \cdot k_{\Gamma 2} \cdot C. \quad (3.5)$$

Для определения значений  $k_B, k_{\Gamma 1}, k_{\Gamma 2}$  из соответствующих таблиц используется метод линейной интерполяции.

Температура окружающей среды сказывается на работе ВЛ путем прямого влияния на степень натяжения и провисания проводов и тросов. При расчетах проводов и тросов на механическую прочность принимаются во внимание следующие температуры:

- 1) высшая температура –  $t_{max}$ , при которой провод может иметь максимальное удлинение и, следовательно, максимальную стрелу провеса;
- 2) низшая температура –  $t_{min}$ , при которой провод имеет наименьшую длину, а температурные напряжения могут достигать наибольших значений;
- 3) среднегодовая температура  $t_{cp}$ , при которой провод работает наиболее длительное время;
- 4) температура гололеда -  $t_{\Gamma}$ , при наибольшей скорости ветра и при гололеде, как правило, эта температура принимается равной  $-5^{\circ}\text{C}$ ;
- 5) температура грозы -  $t_{15}$ , при которой определяется надёжность защиты всех элементов ВЛ тросом в условиях грозового режима, равная  $+15^{\circ}\text{C}$ .

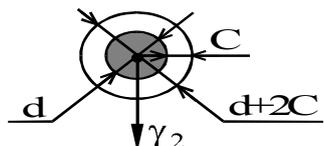
### 3.2 Расчёт удельных нагрузок на провода и тросы

Провода и тросы ВЛ испытывают действие нагрузок – вертикальных (вес провода и гололеда) и горизонтальных (давление ветра). В результате этих нагрузок в металле проводов возникают растягивающие напряжения. При расчетах на механическую прочность пользуются удельными нагрузками на провода и тросы. Под удельной нагрузкой понимают равномерно распределенную вдоль провода механическую нагрузку, отнесенную к единице длины и поперечного сечения. Как правило, удельные нагрузки выражаются в даН, отнесенных к 1 м длины провода и к  $1 \text{ мм}^2$  сечения:

$$\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}, \quad \text{где } 1 \text{ даН} = 10 \text{ Н} \approx 1 \text{ кг}.$$

Рассмотрим, как определяются удельные нагрузки.

1. Удельная нагрузка от собственного веса провода (троса) -  $\gamma_1$  (рис. 3.2).



$$\gamma_1 = \frac{G_{\Pi}}{F},$$

$(3.6)$

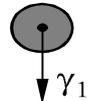


Рис. 3.2.

Рис. 3.3

где  $G_{II}$  – вес одного метра провода или троса, даН;

$F$  – фактическое сечение провода или троса, мм<sup>2</sup>.

Значения  $\gamma_1$  для проводов и тросов приводятся в приложениях А и Б.

2. Удельная нагрузка от веса гололеда  $\gamma_2$  определяется исходя из условия, что гололедные отложения имеют цилиндрическую форму плотностью  $g_0 = 0,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_2 = \frac{g_0 \cdot \pi \cdot C_{max} \cdot (d + C_{max})}{F}, \quad (3.7)$$

где  $C_{max}$  – толщина стенки гололеда, мм;

$d$  – диаметр провода или троса, мм;

$F$  – фактическое сечение провода или троса, мм<sup>2</sup>.

3. Удельная нагрузка от собственного веса провода (троса) и веса гололеда -  $\gamma_3$  (рис. 3.4):

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2. \quad (3.8)$$

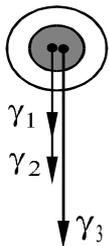


Рис. 3.4.

4. Удельная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу, при отсутствии гололеда -  $\gamma_4$  (рис. 3.5):

$$\gamma_4 = \frac{q_{max} \cdot k_l \cdot k_H \cdot C_X \cdot d}{F} \cdot 10^{-3}, \quad (3.9)$$

где  $q_{max}$  – скоростной напор ветра,  $\frac{\text{даН}}{\text{м}^2}$ ;

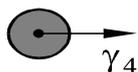


Рис. 3.5.

$k_l$  – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку (табл. 3.7);

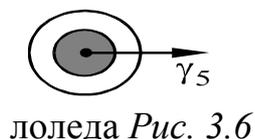
$k_H$  – коэффициент, учитывающий неравномерность скоростного напора ветра по пролету (табл. 3.8);

$C_X$  – коэффициент лобового сопротивления, равный 1,1 – для прово-

дов диаметром 20 мм и более, свободных от гололеда; 1,2 – для всех проводов, покрытых гололедом, и для проводов диаметром меньше 20 мм, свободных от гололеда.

5. Удельная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу, при наличии гололеда -  $\gamma_5$  (рис. 3.6):

$$\gamma_5 = \frac{q' \cdot k_l \cdot k_H \cdot C_X \cdot (d + 2C_{max})}{F} \cdot 10^{-3}, \quad (3.10)$$



где  $q' = 0,25 \cdot q_{max}$  - для районов с толщиной стенки гололеда до 15 мм;

$q' = 0,25 \cdot q_{max}$ , но не менее  $14 \frac{\text{даН}}{\text{м}^2}$  - для районов с толщиной стенки гололеда более 15 мм.

При определении  $\gamma_5$  значение коэффициента  $k_H$  берется из табл. 3.8 для скоростного напора  $q'$ .

6. Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода (или троса) без гололеда -  $\gamma_6$  (рис. 3.7):

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}. \quad (3.11)$$

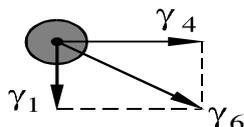


Рис. 3.7

7. Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода (или троса), покрытого гололедом -  $\gamma_7$  (рис. 3.8):

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}. \quad (3.12)$$

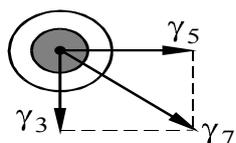


Рис. 3.8

Таблица 3.7

Длина пролета, м	до 50	100	150	250 и более
Коэффициент $k_l$	1,2	1,1	1,05	1,0

Таблица 3.8

Скоростной напор ветра, даН/м <sup>2</sup>	до 27	40	55	76 и выше
Коэффициент $k_H$	1,0	0,85	0,75	0,7

### 3.3 Расчётные климатические условия

При расчётах проводов и тросов ВЛ на механическую прочность необ-

ходимо определять напряжения в проводах (тросах) и стрелы провесов при всех возможных эксплуатационных сочетаниях климатических условий. Поскольку таких сочетаний может быть большое количество, то ПУЭ устанавливают следующие расчетные сочетания климатических условий (режимов):

1) высшая температура ( $t_{max}$ ), ветер и гололед отсутствуют, удельная нагрузка -  $\gamma_1$  (режим высшей температуры);

2) температура минус  $5^{\circ}\text{C}$ , ветер отсутствует, провода (тросы) покрыты гололедом, удельная нагрузка -  $\gamma_3$  (режим гололеда без ветра);

3) низшая температура ( $t_{min}$ ), ветер и гололед отсутствуют, удельная нагрузка -  $\gamma_1$  (режим низшей температуры);

4) среднегодовая температура ( $t_{cp}$ ), ветер и гололед отсутствуют, удельная нагрузка -  $\gamma_1$  (режим среднегодовой температуры);

5) температура минус  $5^{\circ}\text{C}$ , максимальный напор ветра, гололед отсутствует, удельная нагрузка -  $\gamma_6$  (режим наибольшей нагрузки);

6) температура минус  $5^{\circ}\text{C}$ , провода и тросы покрыты гололедом, напор ветра  $q = 0,25 \cdot q_{max}$ , удельная нагрузка -  $\gamma_7$  (режим наибольшей нагрузки);

7) температура плюс  $15^{\circ}\text{C}$ , ветер и гололед отсутствуют, удельная нагрузка -  $\gamma_1$  (грозовой режим).

В районах со среднегодовой температурой минус  $5^{\circ}\text{C}$  и ниже температуры для режимов 5 и 6 следует принимать минус  $10^{\circ}\text{C}$ . Режимы 1 и 2 определяют наибольшую вертикальную стрелу провеса, которая может быть при высшей температуре или при гололеде без ветра. В режимах 3,4,5 и 6 выполняется проверка проводов и тросов по допустимому напряжению в условиях низшей и среднегодовой температуры и в условиях наибольшей внешней нагрузки  $\gamma_{max}$ . При  $\gamma_7 > \gamma_6$  наибольшая внешняя нагрузка будет обусловлена гололедом (режим 6), при  $\gamma_6 > \gamma_7$  ветром (режим 5). Режим 7 необходим для проверки условий защиты элементов ВЛ тросом во время грозы.

### 3.4 Уравнение состояния провода (троса)

Расчёт проводов и тросов ВЛ на механическую прочность включает в себя определение напряжений при различных условиях работы. При изменении климатических условий меняются удельные нагрузки, температура провода и напряжение в его материале. Для определения напряжений в материале провода при разных климатических условиях используют уравнение состояния провода, которое имеет следующий вид:

$$\sigma_P - \frac{\gamma_P^2 \cdot l_P^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_P^2} = \sigma_{II} - \frac{\gamma_u^2 \cdot l_P^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_u^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_P - t_u), \quad (3.13)$$

где  $\sigma_u, \gamma_u, t_u$  - напряжение в материале провода, удельная нагрузка и

температура в исходном режиме;

$\sigma_P, \gamma_P, t_P$  - напряжение в материале провода, удельная нагрузка и температура в рассчитываемом режиме;

$E, \alpha$  - модуль упругости и температурный коэффициент линейного удлинения материала провода;

$l_P$  - расчётная длина пролёта.

Уравнение состояния связывает указанные выше параметры двух разных режимов. С помощью этого уравнения можно по заданным исходным условиям  $\sigma_u, \gamma_u, t_u$  определить напряжение в материале провода  $\sigma_P$  при новых изменившихся условиях  $\gamma_P, t_P$ .

Относительно неизвестной величины  $\sigma_P$  уравнение состояния является неполным кубическим уравнением вида:

$$\sigma_P^3 \pm B\sigma_P^2 - D = 0, \quad (3.14)$$

где  $B$  и  $D$  – числовые коэффициенты, полученные в результате подстановки в уравнение состояния всех известных параметров.

### 3.5 Решение уравнения состояния провода (троса)

Для решения кубического уравнения (3.14) могут быть использованы известные численные и аналитические методы.

Наиболее простым, но требующим больших затрат времени, является метод подбора. Для уменьшения времени расчета необходимо представлять себе приближенное значение искомого напряжения  $\sigma_P$  по отношению к исходному напряжению  $\sigma_u$ . Например, если в исходном режиме задано напряжение при гололеде  $\sigma_G$ , а требуется найти напряжение при максимальной температуре  $\sigma_{tmax}$ , то искомое напряжение должно быть значительно меньше исходного (в 2-2,5 раза).

Примером использования численного метода для решения кубического уравнения может служить метод касательных, который, кроме того, является еще и итерационным. Алгоритм решения этим методом состоит в следующем:

1. Задаемся нулевым приближением -  $\sigma_0$ . Выбор нулевого приближения является очень важным моментом расчёта, так как в значительной степени определяет число итераций и время расчёта. При выборе нулевого приближения следует руководствоваться соображениями, приведенными для метода подбора. В качестве нулевого приближения можно также принять одно из допустимых значений напряжений:  $[\sigma_{\gamma max}], [\sigma_{t min}], [\sigma_{tcp}]$ .

2. Определяем поправку -  $\Delta$  путем деления самой функции на её первую производную:

$$\Delta_i = \frac{\sigma_{i-1}^3 \pm B\sigma_{i-1}^2 - D}{3\sigma_{i-1}^2 \pm 2B\sigma_{i-1}},$$

где  $i$  – номер итерации. На первой итерации  $\sigma_i$  принимается равным  $\sigma_0$ .

3. Находим новое значение напряжения  $\sigma_i$ :

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} - \Delta_i.$$

4. Выполняем проверку окончания итерационного процесса:

$$|\Delta| \leq \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$ -заранее заданная точность расчёта, которую рекомендуется принимать равной  $(0,01-0,03) \frac{\text{даН}}{\text{м}^2}$ .

5. Если условие выполняется, то расчёт прекращается, значение  $\sigma_i$  принимается за искомое:  $\sigma_p = \sigma_i$ . Если условие не выполняется, то значение  $\sigma_i$  принимается в качестве нового приближения и повторяются расчёты по пунктам 2,3,4.

### 3.6 Определение исходного режима

Расчёт проводов и тросов ВЛ на механическую прочность ведется методом допустимых напряжений. Суть этого метода заключается в том, что напряжения в проводе или тросе в любом из эксплуатационных режимов не должны превышать допустимых напряжений. При выполнении этого условия материал провода или троса работает в пределах упругих деформаций. Допустимые напряжения задаются ПУЭ [1] в процентах от предела прочности провода или троса для трех режимов:

- 1) наибольшей нагрузки -  $[\sigma_{\gamma max}]$ ;
- 2) низшей температуры -  $[\sigma_{t min}]$ ;
- 3) среднегодовой температуры -  $[\sigma_{tcp}]$ .

Значения допустимых напряжений приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9. Допустимые механические напряжения в проводах и тросах

Провода и тросы	Допустимые напряжения от предела прочности при растяжении, %		Предел прочности, даН/мм <sup>2</sup>
	при наибольшей нагрузке или низшей температуре	при среднегодовой температуре	
Алюминиевые провода А, АКП	35-45	30	15-16

Сталеалюминовые провода АС, АСКС, АСКП, АСК	35-45	30	24-33*
Стальные провода ПС	50	35	62
Тросы ТК	50	35	120

Как видно из таблицы, допустимые напряжения при наибольшей нагрузке и наименьшей температуре принимаются больше соответствующих напряжений при среднегодовой температуре. Это обусловлено относительной кратковременностью первых двух режимов.

Важным этапом расчёта проводов и тросов на механическую прочность является определение исходного (начального) режима. В качестве такого режима можно принять любой режим, для которого известны удельная нагрузка, температура и напряжение. Однако при эксплуатации проводов и тросов напряжения в них не должны превышать соответствующих допустимых напряжений для режимов максимальной нагрузки, низшей и среднегодовой температур. Чтобы выполнить это условие, целесообразно при расчёте *в качестве исходного выбрать режим, в котором напряжение может достигать допустимого.*

Для определения исходного режима используются так называемые критические пролёты. Суть понятия «критический пролёт» заключается в следующем. На напряжение в проводе или тросе оказывают влияние нагрузка и температура окружающей среды. Их влияние проявляется в большей или меньшей степени в зависимости от длины пролёта. При малых пролётах на напряжение в проводе значительное влияние оказывает температура, при больших пролётах – нагрузка. *Граничный пролет, при котором влияние температуры и нагрузки на напряжения в проводе оказывается равноопасным, называется критическим.*

Условия ограничения напряжения в проводе или тросе в трёх указанных выше режимах определяют три критических пролёта.

*Первый критический пролет ( $l_{к1}$ )* – это такой пролёт, при котором напряжение в проводе в режиме среднегодовой температуры равно допустимому при среднегодовой температуре, а в режиме низшей температуры – допустимому напряжению при низшей температуре.

*Второй критический пролёт ( $l_{к2}$ )* – это такой пролёт, при котором напряжение в проводе при наибольшей нагрузке равно допустимому напряжению при наибольшей нагрузке, а в режиме низшей температуры – допустимому напряжению при низшей температуре.

*Третий критический пролёт ( $l_{к3}$ )* – это такой пролёт, при котором напряжение в проводе в режиме среднегодовой температуры равно допустимому при среднегодовой температуре, а в режиме наибольшей нагрузки

---

\* - меньшие значения предела прочности соответствуют большим значениям отношения сечения алюминиевой части к сечению стальной части провода.

равно допустимому напряжению при наибольшей нагрузке.

Формулы для определения критических пролетов могут быть получены из уравнения состояния провода. Для вычисления первого критического пролета нужно в правую часть уравнения подставить значения  $[\sigma_{tmin}], \gamma_1, t_{min}$ , а в левую -  $[\sigma_{tcp}], \gamma_1, t_{cp}$  и выразить длину:

$$l_{k1} = \frac{2 \cdot [\sigma_{tcp}]}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[ \frac{1}{E} ([\sigma_{tcp}] - [\sigma_{tmin}]) + \alpha (t_{cp} - t_{min}) \right]}{1 - \left( \frac{[\sigma_{tcp}]}{[\sigma_{tmin}]} \right)^2}}. \quad (3.15)$$

Для вычисления второго критического пролёта в уравнение состояния провода нужно подставить значения  $[\sigma_{\gamma max}], \gamma_{max}, t_{zol}$  и  $[\sigma_{tmin}], \gamma_1, t_{min}$ :

$$l_{k2} = \frac{2 \cdot [\sigma_{\gamma max}]}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \alpha \cdot (t_{zol} - t_{min})}{\left( \frac{\gamma_{max}}{\gamma_1} \right)^2 - 1}}, \quad (3.16)$$

где  $t_{zol}$  – температура гололёда, равная минус  $5^0\text{C}$  (при  $t_{cp} \leq -5^0\text{C}$   $t_{zol} = -10^0\text{C}$ ).

Для вычисления третьего критического пролёта в уравнение состояния провода нужно подставить  $[\sigma_{tcp}], \gamma_1, t_{cp}$  и  $[\sigma_{tmax}], \gamma_{max}, t_{zol}$  и выразить длину:

$$l_{k3} = \frac{2 \cdot [\sigma_{\gamma max}]}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[ \frac{1}{E} ([\sigma_{\gamma max}] - [\sigma_{tcp}]) + \alpha (t_{zol} - t_{cp}) \right]}{\left( \frac{\gamma_{max}}{\gamma_1} \right)^2 - \left( \frac{[\sigma_{\gamma max}]}{[\sigma_{tcp}]} \right)^2}}. \quad (3.17)$$

В практических расчётах могут иметь место два соотношения между критическими параметрами:  $l_{k1} < l_{k2} < l_{k3}$  или  $l_{k1} > l_{k2} > l_{k3}$ . Кроме того, могут быть случаи, когда  $l_{k1}$  или  $l_{k3}$ , или оба эти пролёта будут мнимыми. Это будет тогда, когда подкоренные выражения в формулах (3.15), (3.17) будут отрицательными.

Для определения исходного режима по соотношению критических и расчётного пролётов можно воспользоваться табл. 3.10.

Таблица 3.10

Условия выбора исходного режима

Соотношение $l_{k1}, l_{k2}, l_{k3}$	Соотношение $l$ и $l_k$	Параметры исходного режима
$l_{k1} < l_{k2} < l_{k3}$	$l < l_{k1}$	$[\sigma_{tmin}], \gamma_1, t_{min}$

	$l_{к1} < l < l_{к3}$	$[\sigma_{tcp}], \gamma_1, t_{cp}$
	$l > l_{к3}$	$[\sigma_{\gamma max}], \gamma_{max}, t_{гол}$
$l_{к1} > l_{к2} > l_{к3}$	$l < l_{к2}$	$[\sigma_{t min}], \gamma_1, t_{min}$
	$l > l_{к2}$	$[\sigma_{\gamma max}], \gamma_{max}, t_{гол}$
$l_{к1}$ - мнимый	$l < l_{к3}$	$[\sigma_{tcp}], \gamma_1, t_{cp}$
	$l > l_{к3}$	$[\sigma_{\gamma max}], \gamma_{max}, t_{гол}$
$l_{к3}$ - мнимый	$l < l_{к1}$	$[\sigma_{t min}], \gamma_1, t_{min}$
	$l > l_{к1}$	$[\sigma_{tcp}], \gamma_1, t_{cp}$
$l_{к1}$ и $l_{к3}$ - мнимые	-	$[\sigma_{tcp}], \gamma_1, t_{cp}$

### 3.7 Порядок расчёта проводов на механическую прочность

В расчётно-пояснительной записке к курсовому или дипломному проекту рекомендуется выполнять расчёт проводов ВЛ на механическую прочность в следующем порядке:

1. Определить удельные нагрузки  $\gamma_1 - \gamma_7$  на провода и тросы по формулам 3.6 - 3.12.

2. Рассчитать критические пролеты  $l_{к1}, l_{к2}, l_{к3}$  по выражениям (3.15), (3.16), (3.17). По соотношению критических пролетов и расчетного пролета с помощью табл. 3.10 определить исходный режим для расчета провода.

3. По уравнению состояния провода (3.13) рассчитать напряжения в проводе для режимов среднегодовой температуры -  $\sigma_{tcp}$ , режима низшей температуры -  $\sigma_{t min}$ , наибольшей нагрузки -  $\sigma_{\gamma max}$ .

4. Проверить условия механической прочности проводов:

$$\sigma_{tcp} \leq [\sigma_{tcp}]; \sigma_{t min} \leq [\sigma_{t min}]; \sigma_{\gamma max} \leq [\sigma_{\gamma max}]. \quad (3.18)$$

Если условия выполняются, то механическая прочность проводов будет достаточной.

5. По уравнению состояния провода (3.13) рассчитать напряжения в проводе для режимов гололёда без ветра -  $\sigma_{гол}$ , высшей температуры -  $\sigma_{t max}$ , грозового режима -  $\sigma_{зр}$ .

6. Определить стрелы провеса проводов в режимах, указанных в пункте 5 по формуле:

$$f = \frac{\gamma \cdot l^2}{8 \cdot \sigma}, \quad (3.19)$$

где  $\gamma$  и  $\sigma$  - удельная нагрузка и напряжение в проводе в соответствующем режиме.

7. Проверить соблюдение требуемых расстояний от низшей точки провисания провода до земли по условию:

$$f_{tmax} \leq [f]; \quad f_{zol} \leq [f], \quad (3.20)$$

где  $[f]$  - допустимая стрела провеса провода, определяемая по формуле (3.2).

Если условия выполняются, то расстояние от нижнего провода до земли будет не менее габаритного размера.

8. Для усвоения методики расчета необходимо выполнить «вручную» вычисления напряжений и стрел провеса в режимах низшей температуры и грозовом режиме. Все остальные расчёты выполняются с помощью ПК.

### 3.8 Порядок расчёта грозозащитного троса на механическую прочность

Для расчёта грозозащитного троса используются методы и приемы расчета проводов. Кроме того, расположение троса на опоре должно быть таким, чтобы гарантировать защиту проводов от ударов молнии. Во избежание перекрытия изоляции между тросом и проводом во время удара молнии должны соблюдаться соответствующие расстояния между тросом и проводами в середине пролета. Напряжения в тросе при наибольшей нагрузке, низшей и среднегодовой температурах не должны превышать соответствующих допустимых напряжений. Защитный угол троса учитывается при разработке конструкций опор (см. п. 2.4).

Наименьшие допустимые расстояния между тросом и проводом в середине пролета ( $z$ ) без учета отклонения их ветром приведены в табл. 3.1. Допустимые расстояния должны соблюдаться для условий грозового режима, когда на провода и тросы воздействуют нагрузки от собственного веса, ветер отсутствует и температура воздуха равна плюс  $15^{\circ}\text{C}$ . Поэтому указанный режим принимается в качестве исходного для механического расчета троса. С учётом этого обстоятельства рекомендуется выполнять расчёт троса на механическую прочность в следующем порядке:

1. Определить стрелу провеса троса в грозовом режиме (рис. 3.9) по формуле, м:

$$f_{zp}^m = f_{zp}^n + h_1 + \lambda - z,$$

где  $f_{zp}^n$  - стрела провеса провода в середине пролёта в грозовом режиме, м;

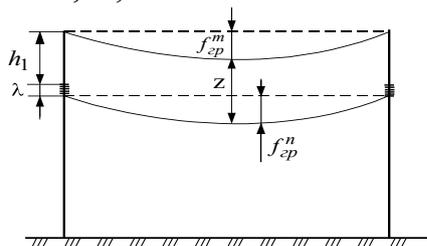


Рис. 3.9 - Соотношение стрел провеса провода и троса

$h_1$  - расстояние по вертикали между верхней траверсой и точкой крепления троса, м;

$\lambda$  - длина гирлянды изоляторов, м;

$z$  - допустимое расстояние между тросом и проводом в середине пролёта, м.

2. Определить напряжение в тросе в грозовом режиме по найденной в п. 1 стреле провеса:

$$\sigma_{zp}^m = \frac{\gamma_1^m \cdot l^2}{8 \cdot f_{zp}^m}.$$

3. Принять в качестве исходного грозовой режим с известными параметрами:  $\sigma_{zp}^m, \gamma_1^m, t = 15^0 C$ . По уравнению состояния провода (3.13) определить напряжение в тросе для режимов максимальной нагрузки, низшей и среднегодовой температуры ( $\sigma_{\gamma max}^m, \sigma_{t min}^m, \sigma_{t cp}^m$ ).

4. Проверить условия механической прочности троса:

$$\sigma_{\gamma max}^m \leq [\sigma_{\gamma max}^m]; \quad \sigma_{t min}^m \leq [\sigma_{t min}^m]; \quad \sigma_{t cp}^m \leq [\sigma_{t cp}^m].$$

Если условия выполняются, то можно сделать вывод о пригодности выбранного троса для условий проектируемой линии в нормальных режимах работы. В противном случае необходимо изменить сечение троса, увеличить высоту его подвеса или предусмотреть другие мероприятия.

### 3.9 Пример расчёта провода на механическую прочность

В качестве примера рассмотрим расчёт на механическую прочность провода АС-120/19 воздушной ЛЭП напряжением 110 кВ, проходящей во II районе по гололеду ( $C = 10$  мм) и в III районе по ветру ( $q = 50$  даН/м<sup>2</sup>), в населенной местности с температурами:  $t_{min} = -40^0 C, t_{max} = +40^0 C, t_{cp} = 0^0 C$ . Линия выполнена с использованием промежуточных опор ПБ110-1. Расчётная длина пролета  $l_p = 240$  м.

Из таблицы А1 приложения А выпишем физико-механические характеристики провода:

- 1) сечение, мм<sup>2</sup>: алюминиевой части – 118  
стальной части – 18,8  
суммарное – 136,8;
- 2) диаметр провода, мм - 15,2;
- 3) вес провода, даН/км – 471;
- 4) модуль упругости, даН/мм<sup>2</sup> -  $8,25 \cdot 10^3$ ;
- 5) температурный коэффициент линейного удлинения, 1/град- $19,2 \cdot 10^{-6}$ ;
- 6) допустимые напряжения, даН/мм<sup>2</sup>:  
при средней температуре – 8,7  
при низшей температуре – 13,0  
при наибольшей нагрузке – 13,0.

1. *Определим толщину стенки гололёда на проводе и величину ско-*

ростного напора ветра.

1.1. Средняя высота подвеса проводов на опоре, м:

$$h_{cp} = \frac{14,5 + 14,5 + (14,5 + 3)}{3} - 1,3 = 14,2.$$

1.2. Допустимая стрела провеса провода (по формуле 3.2), м:

$$[f] = 14,5 - 1,3 - 6,0 = 7,2.$$

**1.3. Высота приведенного центра тяжести провода (по формуле 3.1), м:**

$$h_{np} = 14,2 - \frac{2}{3} \cdot 7,2 = 9,4.$$

1.4. Определим толщину стенки гололёда на проводе по формуле (3.5), мм:

$$C_{max} = 10,0 \cdot 1 \cdot 1 = 10,0.$$

1.5. Определим скоростной напор ветра на провод по формуле (3.4), даН/м<sup>2</sup>:

$$q_{max} = 50,0 \cdot 1 = 50,0.$$

2. Определим удельные нагрузки на провод.

2.1. Удельную нагрузку от собственного веса провода можно определить по формуле (3.6),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_1 = \frac{471}{1000 \cdot 136,8} = 3,44 \cdot 10^{-3}.$$

2.2. Удельную нагрузку от веса гололёда определим по формуле (3.7),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_2 = \frac{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 10,0 \cdot (15,2 + 10,0)}{136,8} = 5,2 \cdot 10^{-3}.$$

2.3. Удельную нагрузку от собственного веса провода и веса гололёда определим по формуле (3.8),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_3 = (3,44 + 5,2) \cdot 10^{-3} = 8,64 \cdot 10^{-3}.$$

2.4. Удельную нагрузку от давления ветра при отсутствии гололёда определим по формуле (3.9),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_4 = \frac{50 \cdot 1,005 \cdot 0,78 \cdot 1,2 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3}}{136,8} = 5,23 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент  $k_l = 1,005$  определен линейной интерполяцией по таблице 3.7. Коэффициент  $k_H = 0,78$  определен по таблице 3.8. Коэффициент

$C_X$  принят равным 1,2.

2.5. Определим удельную нагрузку от давления ветра на провод при наличии гололёда по формуле (3.10),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_5 = \frac{0,25 \cdot 50 \cdot 1,005 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot (15,2 + 2 \cdot 10) \cdot 10^{-3}}{136,8} = 3,88 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент  $k_H = 1,0$  определен по табл. 3.8 для  $q' = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ .

2.6. Определим удельную нагрузку от давления ветра и веса провода без гололёда по формуле (3.11),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_6 = \sqrt{3,44^2 + 5,23^2} \cdot 10^{-3} = 6,26 \cdot 10^{-3}.$$

2.7. Определим удельную нагрузку на провод от давления ветра и веса провода, покрытого гололёдом по формуле (3.12),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :

$$\gamma_7 = \sqrt{8,64^2 + 3,88^2} \cdot 10^{-3} = 9,47 \cdot 10^{-3}.$$

3. Вычислим критические пролёты.

3.1. Первый критический пролёт  $l_{\kappa 1}$  определим по формуле (3.15), м:

$$l_{\kappa 1} = \frac{2 \cdot 8,7}{3,44 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[ \frac{10^{-3}}{8,25} (8,7 - 13,0) + 19,2 \cdot 10^{-6} (0 - (-40)) \right]}{1 - \left( \frac{8,7}{13,0} \right)^2}} = 262,0.$$

3.2. Второй критический пролет  $l_{\kappa 2}$  определим по формуле (3.16), м:

$$l_{\kappa 2} = \frac{2 \cdot 13,0}{3,44 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-40))}{\left( \frac{9,47 \cdot 10^{-3}}{3,44 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - 1}} = 187,0.$$

3.3. Третий критический пролёт  $l_{\kappa 3}$  определим по формуле (3.17), м:

$$l_{\kappa 3} = \frac{2 \cdot 13,0}{3,44 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[ \frac{10^{-3}}{8,25} (13,0 - 8,7) + 19,2 \cdot 10^{-6} (-5 - 0) \right]}{\left( \frac{9,47 \cdot 10^{-3}}{3,44 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - \left( \frac{13,0}{8,7} \right)^2}} = 165,0.$$

В результате получим следующее соотношение критических пролётов и расчётного пролета:  $l_{к1} > l_{к2} > l_{к3}$  и  $l < l_{к2}$ . На основании этих соотношений с помощью табл. 3.10 определим исходный режим. Это режим максимальной нагрузки с параметрами:  $t = t_{20л} = -5^0 C$ ;

$$\gamma = \gamma_{max} = 9,47 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}; \quad \sigma = [\sigma_{\gamma_{max}}] = 13,0 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

4. По уравнению состояния провода (3.13) рассчитаем напряжения в проводе для режимов среднегодовой температуры -  $\sigma_{tcp}$ , режима низшей температуры -  $\sigma_{tmin}$  и наибольшей нагрузки -  $\sigma_{\gamma_{max}}$ .

4.1. Расчёт напряжения в проводе для *режима низшей температуры* выполним «вручную». Для этого подставим все известные параметры в уравнение (3.13):

$$\sigma_{tmin} - \frac{(3,44 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 240^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{tmin}^2} = 13 - \frac{(9,47 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 240^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot 13^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (-40 - (-5))$$

Приведем данное уравнение к виду, соответствующему выражению (3.14):

$$\sigma_{tmin}^3 - 8,037 \cdot \sigma_{tmin}^2 - 234,3 = 0.$$

Решение полученного уравнения выполним итерационным методом касательных. В качестве нулевого приближения примем значение:

$$\sigma_0 = 10 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

4.1.1. Определим поправку на первой итерации:

$$\Delta_1 = \frac{10^3 - 8,037 \cdot 10^2 - 243,3}{3 \cdot 10^2 - 2 \cdot 8,037 \cdot 10} = -0,337.$$

4.1.2. Найдем новое значение напряжения:

$$\sigma_1 = 10 - (-0,337) = 10,337$$

4.1.3. Выполним проверку окончания итерационного процесса. Для этого зададимся точностью расчёта  $\varepsilon = 0,01 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ :

$$0,337 > 0,01,$$

следовательно, расчёт нужно продолжить, приняв в качестве нового приближения  $\sigma = 10,337$ .

4.1.4. Определим поправку на второй итерации:

$$\Delta_2 = \frac{10,337^3 - 8,037 \cdot 10,337^2 - 243,3}{3 \cdot 10,337^2 - 2 \cdot 8,037 \cdot 10,337} = 0,016.$$

4.1.5. Найдем новое значение напряжения:

$$\sigma_2 = 10,337 - 0,016 = 10,321.$$

4.1.6. Выполним проверку:

$$0,016 > 0,01.$$

4.1.7. Определим поправку на третьей итерации:

$$\Delta_2 = \frac{10,321^3 - 8,037 \cdot 10,321^2 - 243,3}{3 \cdot 10,321^2 - 2 \cdot 8,037 \cdot 10,321} = -0,89 \cdot 10^{-6}.$$

4.1.8. Выполним проверку:

$$|-0,89 \cdot 10^{-6}| < 0,01,$$

следовательно, за искомое значение  $\sigma_{tmin}$  принимаем  $\sigma_3$ :

$$\sigma_{tmin} = 10,321 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

4.2. Расчёты напряжений в проводе для режимов среднегодовой температуры и наибольшей нагрузки выполним с помощью программы «MERA2». В результате получим:

$$\sigma_{tcp} = 6,79 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}; \quad \sigma_{\gamma max} = 13,0 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

5. Выполним проверку условий механической прочности проводов по выражениям (3.18):

$$6,79 < 8,7 \quad 10,321 < 13,0 \quad 13,0 = 13,0$$

Условия выполняются – значит, механическая прочность проводов будет достаточной для условий проектируемой линии.

6. По уравнению состояния провода (3.13) выполним расчёты напряжения для режимов гололёда без ветра -  $\sigma_{гол}$ , высшей температуры -  $\sigma_{tmax}$ , грозового режима -  $\sigma_{gp}$ . Результаты расчетов следующие:

$$\sigma_{гол} = 12,29 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}; \quad \sigma_{tmax} = 4,95 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}; \quad \sigma_{gp} = 5,95 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

7. Определим стрелы провеса проводов в режимах гололёда без ветра, высшей температуры и грозового режима по формуле (3.19):

$$f_{гол} = \frac{8,64 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 12,29} = 5,06 \text{ м};$$

$$f_{tmax} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 4,95} = 5,01 \text{ м};$$

$$f_{gp} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 5,95} = 4,16 \text{ м}.$$

8. Выполним проверку соблюдения требуемых расстояний от низшей

точки провисания провода до земли по соотношениям (3.20):

$$5,01 < 7,2 \qquad 5,06 < 7,2$$

Условия выполняются – значит, расстояние от провода до земли будет не менее габаритного размера.

## **4. Расчёт проводов и тросов в аварийных режимах**

### **4.1 Общие сведения**

Под аварийным режимом воздушной ЛЭП понимают работу при полностью или частично оборванных проводах и тросах. Обрывы проводов и тросов возможны даже при правильно спроектированной и правильно эксплуатируемой линии. Обрывы могут произойти по следующим причинам:

- 1) воздействие внешних нагрузок, значительно превышающих расчётные;
- 2) повреждения проводов в зажимах при монтаже с последующим воздействием вибраций;
- 3) пережог проводов электрической дугой вследствие короткого замыкания;
- 4) по другим причинам.

Обрыв провода или троса в одном из пролётов анкерного участка резко меняет условия работы проводов и опор. В нормальном режиме на промежуточные опоры действуют вертикальные силы тяжести проводов, тросов, гололеда, гирлянд и поперечная сила от давления ветра. После обрыва провода или троса на опоры дополнительно действует сила, направленная вдоль линии. Под действием этих сил опоры прогибаются, а гирлянды изоляторов отклоняются в сторону уцелевших пролетов. Отклонения гирлянд и опор приводят к ослаблению тяжения и увеличению стрел провеса в уцелевших пролетах анкерного участка.

Изменения тяжения провода в результате смещения его точки подвеса называется редуцией, установившееся новое тяжение – редуцированным, а отношение редуцированного к начальному тяжению – коэффициентом редукации.

Основной задачей расчёта аварийного режима воздушной ЛЭП является определение редуцированного тяжения и стрел провеса в пролетах, смежных с аварийным пролетом. При использовании унифицированных опор это тяжение сравнивают с нормативным, на которое рассчитана унифицированная опора. По редуцированной стреле провеса производят проверку установленных ПУЭ допустимых расстояний от провода до земли или до пересекаемых инженерных сооружений в аварийном режиме работы ВЛ.

### **4.2 Расчётные условия и нормативные тяжения**

Промежуточные опоры воздушных линий с поддерживающими гирляндами изоляторов и глухими зажимами рассчитываются на горизонталь-

ные нагрузки в следующих аварийных режимах:

1) оборван провод одной фазы (при любом числе проводов на опоре), тросы не оборваны;

2) оборван один трос, провода не оборваны.

Горизонтальные нагрузки прикладываются в месте крепления того провода или троса, при обрыве которого усилия, воздействующие на опору, получаются наибольшими. *Расчёт выполняют* для сочетания климатических условий, соответствующих среднеэксплуатационным, т. е. для режима среднегодовой температуры при отсутствии ветра и гололеда.

Редуцированное тяжение провода в пролете, смежном с аварийным, не должно превышать нормативного значения установленного для каждого типа унифицированных опор:

$$T_{ав} \leq T_{норм}. \quad (4.1)$$

Нормативное тяжение ( $T_{норм}$ ) устанавливается ПУЭ в долях от максимального тяжения провода ( $T_{max}$ ). Значение максимального тяжения можно определить следующим образом:

$$T_{max} = [\sigma_{max}] \cdot F_{max}, \quad (4.2)$$

где  $F_{max}$  – наибольшее суммарное сечение провода из всего диапазона сечений, для которого может быть применена данная унифицированная опора;

$[\sigma_{max}]$  - наибольшее допустимое напряжение для данной марки провода.

Значения нормативных тяжений приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Вид опоры	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Нормативное тяжение
Металлические и опоры на оттяжках (негибкие опоры)	не более 185	$0,5 \cdot T_{max}$
	более 185	$0,4 \cdot T_{max}$
Железобетонные свободностоящие опоры	не более 185	$0,3 \cdot T_{max}$
	более 185	$0,25 \cdot T_{max}$
Деревянные свободностоящие опоры	не более 185	$0,25 \cdot T_{max}$
	более 185	$0,2 \cdot T_{max}$

Нормативное тяжение при обрыве троса принимается равным:

$$T_{норм}^m = 0,5 \cdot T_{max}^m = 0,5 \cdot [\sigma_{tcp}^m] \cdot F^m, \quad (4.3)$$

где  $F^m$  – площадь поперечного сечения троса;  
 $[\sigma_{тср}^m]$  – допустимое напряжение троса в режиме среднегодовой температуры.

### 4.3 Расчёт отклонений опор и гирлянд в аварийных режимах воздушных ЛЭП

При обрыве провода или троса происходит отклонение точки подвеса провода в сторону уцелевших пролетов. Отклонение точки подвеса провода ( $\delta$ ) определяется прогибом опоры ( $\delta'$ ) и отклонением гирлянды изоляторов ( $\delta''$ ) (рис. 4.1):  $\delta = \delta' + \delta''$ .

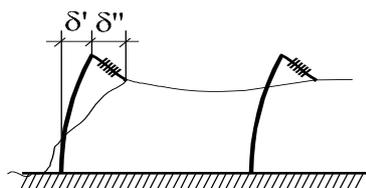


Рис. 4.1

Прогиб промежуточной опоры, вызываемый разностью тяжений в двух прилегающих к ней пролетах, равен, м:

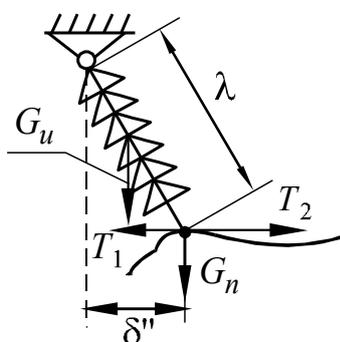
$$\delta' = k \cdot m \cdot \Delta T, \quad (4.4)$$

где  $k$  – коэффициент гибкости опоры, м/даН;  
 $m$  – коэффициент распределения усилий между стойками опоры;  
 $\Delta T$  – разность тяжений.

Коэффициент  $k$  для железобетонных опор без оттяжек принимается равным 0,001 м/даН; для деревянных опор в зависимости от конструкции – от 0,001 до 0,003 м/даН; для металлических опор, выполненных в виде пространственных конструкций, – принимается равным нулю.

Коэффициент  $m$  для П-образных опор принимается равным при обрыве крайнего провода для опор без ветровых связей – 1,0; опор с ветровыми связями – 0,75; при обрыве среднего провода – 0,5; для одностоечных опор – 1,0.

Отклонение гирлянды изоляторов из-за разности тяжений проводов в двух смежных пролётах равно (рис. 4.2), м:



$$\delta'' = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{\sqrt{\left(G_n + \frac{G_u}{2}\right)^2 + (\Delta T)^2}}, \quad (4.5)$$

где  $\lambda$  – длина гирлянды изоляторов;  
 $G_n$  – вес проводов двух смежных полупролетов;  
 $G_u$  – вес гирлянды изоляторов;

Рис. 4.2  $\Delta T = T_2 - T_1$  –

разность тяжений проводов в приле-

#### 4.4 Упрощенный расчёт тяжения проводов и тросов в аварийных режимах

Существуют несколько методов определения тяжения проводов в аварийном режиме. Аналитическое решение этой задачи громоздко и трудоемко. Поэтому практические расчёты выполняют графоаналитическими или упрощенными методами. Графоаналитические методы изложены в специальной литературе [4]. В настоящем параграфе рассмотрим упрощенный расчёт, в котором приняты следующие допущения:

1. В результате исследований установлено: если число уцелевших пролетов между анкерными опорами больше пяти, то редуцированное тяжение можно определять, полагая, что между анкерными опорами имеется шесть пролетов. При этом остальные пролёты оказывают незначительное влияние на редуцированное тяжение в пролётах, смежных с аварийным, из-за малого смещения точек подвеса. Поэтому для расчёта проводов в аварийном режиме принимают расчетную схему из шести одинаковых пролётов.

2. Длина каждого из шести пролетов принимается равной расчётной длине пролета  $l_p$ .

3. Полагают также, что точки подвеса всех проводов расположены на одной высоте.

4. Считают, что коэффициент гибкости опор равен нулю.

Погрешность упрощенного метода расчёта не превышает 5 %.

В приближенном методе расчёта тяжение провода в пролёте, смежном с аварийным пролётом, определяется с помощью коэффициента редукции:

$$T_{ав1} = k_p \cdot T_{tcp}, \quad (4.6)$$

где  $k_p$  - коэффициент редукции;

$T_{tcp}$  - тяжение в проводе в режиме среднегодовой температуры.

Коэффициенты редукции определяются в зависимости от числа пролётов между аварийным пролётом и анкерной опорой. Если между анкерной опорой и аварийным пролётом уцелел всего один пролёт, то коэффициент редукции можно определить по формуле:

$$k_{p1} = 0,01 + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,375 \cdot \lambda \cdot \frac{l_p}{f_{tcp}^2}}}, \quad (4.7)$$

где  $f_{tcp}$  - стрела провеса провода (троса) в режиме среднегодовой температуры.

При шести и более уцелевших пролётах коэффициент редукиции определяется так:

$$k_{p6} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda}{f_{tcp}} \sqrt[3]{\frac{l_p}{f_{tcp}}}}} - 0,1. \quad (4.8)$$

При другом числе уцелевших пролётов используются следующие формулы:

$$k_{p2} = \frac{k_{p1} + k_{p6}}{2}; k_{p3} = \frac{k_{p1} + 3k_{p6}}{4}; k_{p4} = \frac{k_{p1} + 7k_{p6}}{8}; k_{p5} = \frac{k_{p1} + 15k_{p6}}{16}. \quad (4.9)$$

После определения тяжения определяются напряжение и стрела провеса в аварийном режиме по известным формулам.

#### 4.5 Пример расчёта проводов в аварийных режимах

В качестве примера рассмотрим расчёт аварийного режима проводов АС-120/19 воздушной ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной на железобетонных опорах ПБ110-1. Расчётная длина пролета -  $l_p = 240$  м. Напряжение в проводе в режиме среднегодовой температуре составляет -  $\sigma_{tcp} = 6,79$  даН/мм<sup>2</sup>; вес провода -  $G_{0n} = 471$  даН/км; суммарное сечение провода -  $F = 136,8$  мм<sup>2</sup>; длина гирлянды изоляторов -  $\lambda = 1,3$  м; вес гирлянды -  $G_u = 50$  даН; удельная нагрузка на провод в режиме среднегодовой температуры -  $\gamma_1 = 3,44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ .

Будем считать, что число пролетов анкерного участка равно 10, а обрыв одного из проводов произошёл в шестом пролёте, считая от левой анкерной опоры рис. 4.3

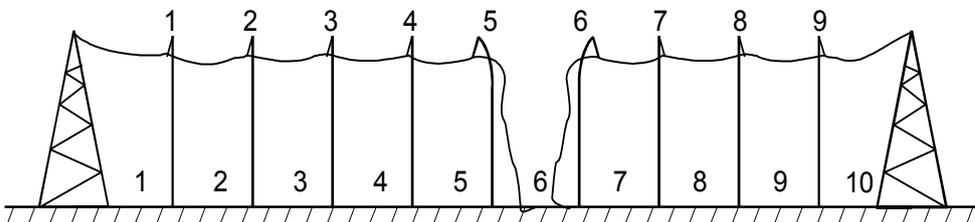


Рис. 4.3

1. Определим величины, необходимые для дальнейших расчётов.

1.1. Тяжение проводов в режиме среднегодовой температуры определим по формуле:

$$T_{tcp} = \sigma_{tcp} \cdot F$$

$$T_{tcp} = 6,79 \cdot 136,8 = 928,87 \text{ даН.}$$

1.2. Стрелу провеса провода в режиме среднегодовой температуры определим по формуле (3.19):

$$f_{tcp} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 6,9} = 3,65 \text{ м.}$$

1.3. Максимальное тяжение провода определим по формуле (4.2):

$$T_{max} = 13,0 \cdot 173,2 = 2251,6 \text{ даН.}$$

1.4. Нормативное тяжение провода в аварийном режиме определим по таблице 4.1:

$$T_{норм} = 0,3 \cdot 2251,6 = 675,5 \text{ даН.}$$

2. Определим редуцированное тяжение в пятом пролёте от левой анкерной опоры. Для этого воспользуемся упрощенным методом расчёта.

2.1. Найдем коэффициент редукиции  $k_{p1}$  по формуле (4.7):

$$k_{p1} = 0,01 + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,375 \cdot 1,3 \cdot \frac{240}{3,65^2}}} = 0,330.$$

2.2. Найдем коэффициент редукиции  $k_{p6}$  по формуле (4.8):

$$k_{p6} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1,3}{3,65} \sqrt[3]{\frac{240}{3,65}}}} - 0,1 = 0,541.$$

2.3. Найдем коэффициент редукиции  $k_{p5}$  по формуле (4.9):

$$k_{p5} = \frac{0,330 + 15 \cdot 0,541}{16} = 0,528.$$

2.4. Редуцированное тяжение в пятом пролёте от левой анкерной опоры определим по формуле (4.6):

$$T_{ав1} = 0,528 \cdot 928,87 = 490,44 \text{ даН.}$$

2.5. Выполним проверку условия прочности опор в аварийном режиме по соотношению (4.1):

$$490,44 < 675,5.$$

Условие выполняется, - значит, прочность левой промежуточной опоры в аварийном режиме будет достаточной для условий проектируемой линии.

3. Определим аварийную стрелу провеса в пятом пролёте от левой анкерной опоры.

3.1. Найдем редуцированное напряжение в проводе в указанном пролёте:

$$\sigma_p = \frac{T_{a\epsilon 1}}{F}$$

$$\sigma_p = \frac{49,044}{136,8} = 3,59 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

3.2. Найдем стрелу провеса в аварийном режиме в указанном пролёте:

$$f_{ав} = \frac{\gamma_1 \cdot l_p^2}{8 \cdot \sigma_p}$$

$$f_{ав} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 3,59} = 6,90 \text{ м.}$$

3.3. Выполним проверку соблюдения требуемого расстояния от нижней точки провисания провода до земли в аварийном режиме по соотношению (3.20):

$$6,90 < 7,2.$$

Условие выполняется, - значит, расстояние от провода до земли в аварийном режиме в указанном пролёте не будет меньше габарита.

4. Определим редуцированное тяжение в четвертом пролете от правой анкерной опоры.

4.1. Найдем коэффициент редукиции  $k_{p4}$  по формуле (4.9):

$$k_{p4} = \frac{0,330 + 7 \cdot 0,541}{8} = 0,515.$$

4.2. Редуцированное тяжение в четвертом пролёте от правой анкерной опоры (смежном с аварийным пролётом) определим по формуле (4.6):

$$T_{a\epsilon 1} = 0,515 \cdot 928,87 = 478,02 \text{ даН.}$$

4.3. Выполним проверку условия прочности опор в аварийном режиме по соотношению (4.1):

$$478,02 < 675,5.$$

Условие выполняется, - значит, прочность правой промежуточной опоры в аварийном режиме будет достаточной для условий проектируемой линии.

5. Определим аварийную стрелу провеса в четвертом пролете от левой анкерной опоры.

5.1. Найдем редуцированное напряжение в проводе в указанном пролёте:

$$\sigma_p = \frac{478,02}{136,8} = 3,49 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

5.2. Найдем стрелу провеса в аварийном режиме в указанном пролёте:

$$f_{ав} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 3,49} = 7,09 \text{ м.}$$

5.3. Выполним проверку соблюдения требуемого расстояния от нижней точки провисания провода до земли в аварийном режиме по соотношению (3.20):

$$7,09 < 7,2.$$

Условие выполняется, - значит, расстояние от провода до земли в аварийном режиме в указанном пролёте не будет меньше габарита.

6. Определим прогиб промежуточной опоры № 5, ограничивающей аварийный пролет, по формуле (4.4):

$$\delta'_5 = 0,001 \cdot 1 \cdot 490,44 = 0,490 \text{ м.}$$

7. Определим отклонение гирлянды изоляторов на промежуточной опоре № 5 по формуле (4.5):

$$\delta''_5 = \frac{1,3 \cdot 490,44}{\sqrt{\left(56,52 + \frac{50}{2}\right)^2 + 490,44^2}} = 1,28 \text{ м.}$$

8. Определим прогиб промежуточной опоры № 6, ограничивающей аварийный пролёт по формуле (4.4):

$$\delta'_6 = 0,001 \cdot 1 \cdot 478,02 = 0,478 \text{ м.}$$

9. Определим отклонение гирлянды изоляторов на промежуточной опоре № 6 по формуле (4.5):

$$\delta''_6 = \frac{1,3 \cdot 478,02}{\sqrt{\left(56,52 + \frac{50}{2}\right)^2 + 478,02^2}} = 1,28 \text{ м.}$$

## 5. Изоляторы и линейная арматура

### 5.1 Типы изоляторов и их характеристики

Изоляторы, используемые на воздушных ЛЭП, называются линейными. Линейные изоляторы предназначены для изоляции и крепления проводов на линиях и в распределительных устройствах подстанций. Изготавливаются изоляторы из фарфора, закаленного стекла и полимерных материалов.

Полимерные изоляторы имеют ряд преимуществ перед стеклянными и фарфоровыми. Масса полимерных изоляторов в 10-20 раз меньше массы гирлянд изоляторов для ВЛ соответствующего класса напряжения. Это позволяет получить существенные преимущества при транспортировке, монтаже и эксплуатации ЛЭП. Полимерные изоляторы обладают большой механической прочностью и не разрушаются при обстреле их дробью и даже пулями. Линейные изоляторы из полимерных материалов практиче-

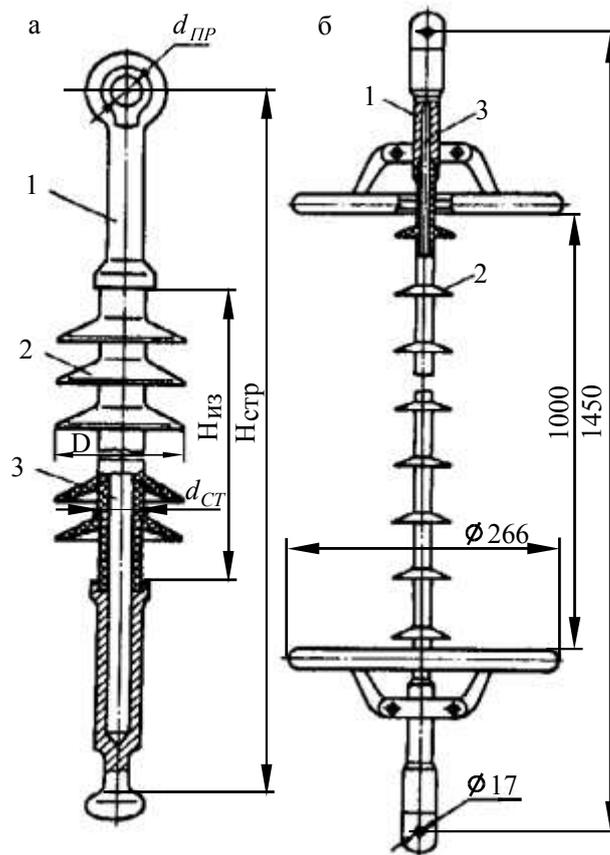


Рис. 5.1. Полимерные изоляторы:  
 а - типа ЛК на кремнийорганической основе;  
 б - типа ЛП на напряжение 110 кВ с полиолефиновым покрытием

ски не пробиваемы при воздействии грозových и коммутационных перенапряжений. Их применение в качестве изолирующих межфазовых распорок позволяет ограничить пляску проводов.

В настоящее время выпускаются два типа полимерных изоляторов (рис. 5.1а,б) по действующему ОСТ 34-27-688-84. В качестве несущего компонента изолятора применяется однонаправленный стеклопластиковый стержень 3, состоящий из десятков тысяч тончайших стеклянных волокон, обладающих высокой механической прочностью. Стеклопластиковый стержень защищен от внешних воздействий защитной оболочкой 2, стойкой к ультрафиолетовому излучению и химическим воздействиям. Это необходимо в связи с тем, что связующее вещество стеклопластикового стержня не обладает достаточной стойкостью к атмосферным воздействиям. На концах несущего стержня крепятся металлические оконцеватели 1, которые должны обеспечивать высокую прочность и надежность изолятора. Для этого применяются два способа оконцевания – клиновая и прессуемая заделки. За счет применения оконцевателей с клиновой заделкой длина изолятора может быть несколько сокращена.

Изоляторы делят на две основные группы: штырьевые и подвесные.

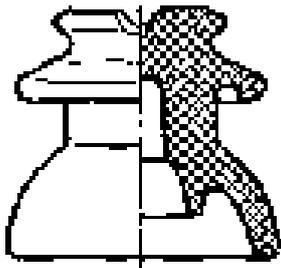


Рис. 5.2

Штырьевые изоляторы (рис. 5.2) крепятся на опорах с помощью штырей или крючьев и применяются на ЛЭП напряжением до 35 кВ. На номинальное напряжение 6, 10 кВ и ниже изоляторы изготавливают одноэлементными, а на 20, 35 кВ – двухэлементными. Подвесные изоляторы тарельчатого типа (рис. Д1 приложения Д) крепятся к опоре с помощью линейной арматуры. Эти изоля-

торы могут соединяться между собой, образуя гирлянды, которые бывают поддерживающими и натяжными. Первые монтируются на промежуточных опорах, вторые – на анкерных. Подвесные изоляторы применяются на ЛЭП номинальным напряжением 35 кВ и выше.

Маркировка изоляторов состоит из букв и цифр. Для штырьевых изоляторов первая буква обозначает тип, вторая – материал изолятора, цифра указывает величину номинального напряжения. Например: ШС-10 – штырьевой, стеклянный на 10 кВ. Для подвесных изоляторов буквы обозначают тип изолятора (П – подвесной; Л – линейный), материал изолятора (Ф – фарфоровый; С – стеклянный; Г – для загрязненных районов). Цифра показывает разрушающую электромеханическую нагрузку в килоньютонах. После цифры могут быть еще буквы (А, Б, В), показывающие исполнение изолятора. Например: ПФ70 – подвесной, фарфоровый, с разрушающей электромеханической нагрузкой 70 кН. Для полимерных изоляторов буквы обозначают тип (Л – линейный), материал покрытия (К – кремнийорганическое, П – полиолефиновое покрытие). Цифра показывает разрушающую электромеханическую нагрузку в кН; номинальное электрическое напряжение. После цифр буква показывает исполнение изолятора. Например: ЛП-70/110-ВЗ – линейный, с полиолефиновым покрытием, с разрушающей нагрузкой 70 кН, на напряжение 110 кВ.

Основными характеристиками изоляторов являются сухо разрядное, мокро разрядное и импульсное разрядное напряжения. Сухо разрядным называется напряжение промышленной частоты, при котором происходит перекрытие изолятора с сухой и чистой поверхностью. Мокро разрядным называется напряжение промышленной частоты, при котором изолятор перекрывается в условиях дождя. Импульсное разрядное напряжение определяется при воздействии на изолятор стандартной волны перенапряжения.

При эксплуатации линейные изоляторы подвергаются одновременно воздействию электрического напряжения и механической нагрузки. Поэтому испытания подвесных изоляторов производятся при воздействии напряжения (75 % сухо разрядного) и при постепенном повышении механической нагрузки. Механическая нагрузка, при которой находящийся под напряжением изолятор разрушается, называется разрушающей электrome-

ханической нагрузкой. Эта нагрузка указывается в технических характеристиках изоляторов, которые приведены в таблице приложения Д.

## 5.2 Выбор изоляторов

Тип изолятора выбирается по механической нагрузке с учётом коэффициента запаса прочности. Коэффициент запаса прочности представляет собой отношение разрушающей электромеханической нагрузки к нормативной нагрузке на изолятор. Согласно ПУЭ, коэффициенты запаса прочности в режиме наибольшей нагрузки должны быть не менее 2,7, а в режиме среднегодовой температуры – не менее 5,0.

В нормальных режимах поддерживающая гирлянда изоляторов воспринимает осевую нагрузку, состоящую из веса провода, гололёда и веса самой гирлянды. С учётом этого расчетные условия для выбора типа изоляторов в подвесной гирлянде имеют вид:

$$\begin{aligned} 2,7(G_2 + G_u) &\leq G_{эм}, \\ 5,0(G_n + G_u) &\leq G_{эм}, \end{aligned} \quad (5.1)$$

где  $G_2$  – нагрузка на изолятор от веса провода, покрытого гололёдом;

$G_u$  – нагрузка на изолятор от веса гирлянды;

$G_n$  – нагрузка на изолятор от веса провода;

$G_{эм}$  – разрушающая электромеханическая нагрузка.

Нагрузки  $G_2$  и  $G_n$  можно рассчитать следующим образом:

$$\begin{aligned} G_2 &= \gamma_7 \cdot F \cdot l_{вес}, \\ G_n &= \gamma_1 \cdot F \cdot l_{вес}, \end{aligned} \quad (5.2)$$

где  $l_{вес}$  – длина весового пролёта (указывается в технических характеристиках опор);

$F$  – общее фактическое сечение провода;

$\gamma_7$  – удельная нагрузка от ветра и веса провода, покрытого гололедом (см.п. 3.2);

$\gamma_1$  – удельная нагрузка от собственного веса провода (см. п. 3.2).

Поскольку до выбора типа изолятора вес гирлянды неизвестен, то в выражение (5.1) подставляются усредненные значения  $G_u$ , известные из практики (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Номинальное напряжение, кВ	35	110	220	330	500
Вес гирлянды изоляторов, даН	20	50	80	170	280

При выборе изоляторов натяжных гирлянд в условия (5.1) добавляется

величина тяжения провода. Поэтому выбор типа изоляторов таких гирлянд производится по следующим формулам:

$$2,7 \sqrt{(\sigma_{\gamma max} \cdot F)^2 + \left( \frac{\gamma_7 \cdot F \cdot l_{вес}}{2} + G_u \right)^2} \leq G_{эм} \quad (5.3)$$

$$5,0 \sqrt{(\sigma_{icp} \cdot F)^2 + \left( \frac{\gamma_1 \cdot F \cdot l_{вес}}{2} + G_u \right)^2} \leq G_{эм}$$

После выбора типа изоляторов определяется их количество в гирлянде. Оно должно быть таким, чтобы обеспечить надежную работу ЛЭП в условиях тумана, росы или морозящего дождя в сочетании с загрязнением поверхности изоляторов. При одинаковых загрязнениях *значение грязеразрядного напряжения* гирлянды пропорционально *длине пути утечки изолятора*  $l_{ym}$ , представляющей собой наименьшее расстояние по поверхности изолирующей части между двумя электродами изолятора (таблица приложения Д).

Поверхности изоляторов загрязняются и увлажняются неравномерно. В результате этого грязеразрядные напряжения оказываются пропорциональными не  $l_{ym}$ , а *эффективной длине пути утечки*:

$$l_{эф} = \frac{l_{ym}}{k}, \quad (5.4)$$

где  $k \geq 1$  - поправочный коэффициент (коэффициент эффективности изолятора). Значение  $k$  для изоляторов тарельчатого типа можно приближенно определить по эмпирической формуле:

$$k = 1 + 0,5 \left( \frac{l_{ym}}{D} - 1 \right), \quad (5.5)$$

где  $D$  – диаметр тарелки изолятора.

Эффективная длина пути утечки, обеспечивающая надёжную эксплуатацию гирлянд изоляторов, зависит от многих факторов, в том числе и от интенсивности загрязнения атмосферы. Для проектирования воздушных ЛЭП установлена классификация местностей по степени загрязнения атмосферы и нормированы минимально допустимые удельные эффективные длины пути утечки  $\lambda_{эф}$ , представляющие собой отношения эффективной длины пути утечки к наибольшему рабочему напряжению линии  $U_{наиб}$  (табл. 5.2):

$$\lambda_{эф} = \frac{l_{эф}}{U_{наиб}},$$

где  $U_{наиб} = 1,15 \cdot U_{ном}$  для ВЛ напряжением 35-220 кВ.

К районам с повышенным уровнем загрязнения атмосферы (степень

III-VI) относятся районы вблизи промышленных центров, районы с засоленными почвами, прибрежные зоны морей и соленых озер.

Таблица 5.2

Нормированные удельные эффективные длины пути утечки

Степень загрязненности атмосферы	$\lambda_{эф}$ , см/кВ (не менее)		
	Для ВЛ при номинальном напряжении, кВ		
	35	110-220	330-750
I	1,7	1,3	1,3
II	1,9	1,6	1,5
III	2,25	1,9	1,8
IV	2,6	2,25	2,25
V	3,5	3,0	3,0
VI	4,0	3,5	3,5

Для надёжной эксплуатации при рабочем напряжении эффективная длина пути утечки изоляторов должна быть не ниже нормированного значения, т. е. должно выполняться условие:

$$n \cdot l_{эф} \geq \lambda_{эф} \cdot U_{наиб}$$

или количество изоляторов в гирлянде должно составлять:

$$n \geq \frac{\lambda_{эф} \cdot U_{наиб}}{l_{эф}}. \quad (5.6)$$

В связи с возможностью выхода из строя отдельных изоляторов во время эксплуатации и относительно большой трудоёмкостью их замены количество изоляторов определенное по формуле (5.6) *увеличивается на один* для ЛЭП напряжением 110-220 кВ и *на два* для ЛЭП напряжением 330 кВ и выше.

На промежуточных опорах ЛЭП напряжением до 110 кВ включительно крепление троса к опоре осуществляется без изолятора. На ЛЭП напряжением 220 кВ и выше трос крепится к опоре через подвесной изолятор, который шунтируется искровым промежутком. Тип изолятора для крепления троса выбирается по выражениям (3.1), в которых весом изоляторов пренебрегают ( $G_u = 0$ ), а удельные нагрузки и сечения принимают для троса.

### 5.3 Линейная арматура

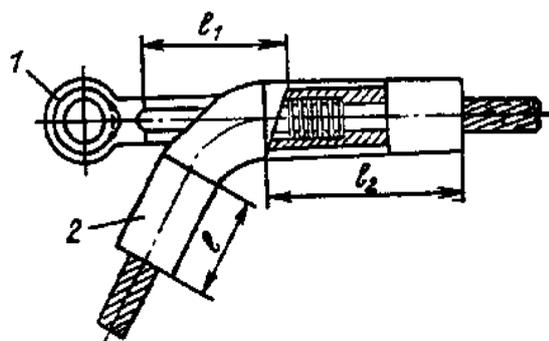
Линейная арматура предназначена для крепления гирлянды изоляторов к траверсе опоры и для крепления провода к гирлянде. Арматура делится на следующие виды: 1 – зажим, 2 – сцепную арматуру, 3 – соединительную арматуру, 4 – защитную арматуру; 5 – распорки.

*Зажимы* служат для фиксации проводов и тросов. Они подразделяются на поддерживающие, подвешиваемые на промежуточных опорах, и натяжные, применяемые на опорах анкерного типа. Поддерживающие зажимы

подразделяются на глухие и с заделкой ограниченной прочности. Глухой зажим показан на рис. К1 приложения. Он состоит из корпуса, в который укладывается провод (или трос), плашек и U-образных болтов для крепления провода в корпусе. Провод или трос в случае обрыва в одном из пролетов не вытягивается из зажима, а на промежуточную опору передается редуцированное тяжение. Глухие зажимы – это основной тип зажимов, применяемых в настоящее время на ЛЭП напряжением 35-500 кВ.

Зажимы с ограниченной прочностью заделки применяются только для проводов ЛЭП напряжением 500 кВ. Они позволяют проводу при обрыве проскальзывать в зажиме, что уменьшает аварийную нагрузку на промежуточную опору.

Натяжные зажимы делятся на три типа: болтовые - для проводов АС70/11-АС240/39; прессуемые – для сталеалюминиевых проводов АС185/24 и более; клиновые – для подвески стальных тросов. Болтовые зажимы состоят из корпуса, плашек, натяжных болтов с гайками и прокладок. Прессуемые зажимы (рис. 5.3) состоят из стального анкера 1, в котором



опрессовывается

Рис. 5.3 совмещается алюминиевая часть провода со стороны пролета и шлейф. Клиновые зажимы состоят из корпуса и клина. При тяжении троса клин прижимает трос к корпусу, обеспечивая надежную заделку.

делку.

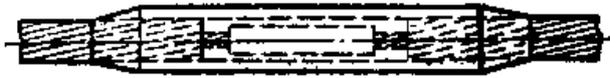
*Сцепная арматура* включает скобы, серьги, ушки. Скоба предназначена для присоединения гирлянды к траверсе опоры или к закрепляемым на траверсе деталям. Серьга соединяет скобу с шапкой верхнего изолятора. Ушки соединяют нижний изолятор с зажимом. Серьга со скобой и ушко с зажимом сочленяются с помощью болта или пальца. Один конец фиксируется шляпкой, а другой – гайкой или шайбой с обязательным применением шплинтов. Сцепная арматура изображена на рисунках приложений И, Л.

*Соединительная арматура.* Промышленность выпускает провода кусками определенной длины. На ЛЭП эти куски проводов соединяют друг с другом с помощью соединителей, которые подразделяются на овальные и прессуемые. Овальные соединители (рис. 5.4) применяются для проводов сечением до 185 мм<sup>2</sup> включительно. В них провода укладываются внахлест, после чего производится соединение методом скручивания с помощью специальных приспособлений.

Рис. 5.4

Прессуемые соединители используются для соединения проводов





сечением  $240 \text{ мм}^2$  и более и стальных тросов всех сечений (рис. 5.5).

Рис. 5.5

Для сталеалюминевых проводов эти зажимы состоят из двух трубок: стальной и алюминиевой. С помощью стальной трубки опрессовываются концы стальной части провода, а с помощью алюминиевой трубки опрессовываются концы алюминиевой части провода. Прессуемые соединители для алюминиевых проводов и тросов состоят из одной трубки.

*Защитная арматура* устанавливается у конца гирлянды со стороны провода. На поддерживающих гирляндах выполняется в виде овала, направленного длинной стороной вдоль провода. На натяжных гирляндах устанавливаются кольца. При изолированной подвеске троса на ЛЭП напряжением 220 кВ и выше изоляторы шунтируются разрядными рогами.

*Распорки* устанавливаются для соединения друг с другом проводов расщепленной фазы. Они состоят из двух пар плашек, охватывающих и зажимающих с помощью болтов два провода одной фазы. Плашки шарнирно соединяются жесткой тягой, обеспечивающей требуемое расстояние между проводами в расщепленной фазе.

#### 5.4 Выбор линейной арматуры

Выбор арматуры производится по минимальной разрушающей нагрузке  $G_p$ , приводимой в технических характеристиках арматуры. Выбор арматуры аналогичен выбору изоляторов согласно ПУЭ. Коэффициент запаса прочности, т.е. отношение минимальной разрушающей нагрузки к нормативной нагрузке для условий гололёда должен быть не менее 2,5.

Выбор арматуры для поддерживающих гирлянд осуществляется по выражению:

$$2,5(G_z + G_u) \leq G_p, \quad (5.7)$$

а для натяжных гирлянд по выражению:

$$2,5 \sqrt{(\sigma_{\gamma \max} \cdot F)^2 + \left(\frac{G_z}{2} + G_u\right)^2} \leq G_p. \quad (5.8)$$

При выборе арматуры для троса в выражениях (5.7) и (5.8) пренебрегают значением  $G_u$ .

Для крепления провода к гирлянде применяют, как правило, поддерживающие глухие зажимы типа ПГ и ПГН и ушки типа У1. Для крепления гирлянды к траверсе используются узлы типа КГП и серьги типа СР. Основные характеристики линейной арматуры приведены в таблицах приложения И.

После выбора типа изолятора, количества изоляторов в гирлянде и арматуры определяются фактические вес и длина гирлянды по формулам:

$$\begin{aligned} G_{гир.ф} &= n \cdot G_{из} + G_{арм}, \\ \lambda_{гир.ф} &= n \cdot H_{из} + h_{арм}, \end{aligned} \quad (5.9)$$

где  $n$  – количество изоляторов в гирлянде;

$G_{из}, G_{арм}$  – вес одного изолятора и суммарный вес элементов арматуры;

$H_{из}, H_{арм}$  – высота одного изолятора и суммарная высота элементов арматуры.

### 5.5 Защита проводов и тросов от вибрации

При воздействии ветра в проводах и тросах воздушных ЛЭП могут возникать колебательные процессы – вибрации. Длительное воздействие вибраций на провод или трос может привести к поломке отдельных проволок в местах его крепления к зажиму и, в конечном счете, вызовет его обрыв.

Вибрации могут достигать опасных значений при определенных величинах длины пролета и напряжения в проводе или тросе. Защита от вибраций согласно ПУЭ требуется в случае выполнения всех условий, указанных в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Марка провода или троса	Сечение, мм <sup>2</sup>	Длина пролёта, м	$\sigma_{тср}$ , даН/мм <sup>2</sup>
Сталеалюминевые провода АС, АСО, АСУ	менее 95	больше 80	больше 4,0
	120-240	больше 100	больше 4,0
	более 300	больше 100	больше 4,0
Грозозащитный трос всех типов	все сечения	больше 120	больше 18,0

Защита от вибраций осуществляется с помощью гасителей вибрации, представляющих собой два груза, укрепленных на стальном тросике (рис. Ж1). Виброгаситель крепится к проводу с помощью болтового плашечного зажима. При возникновении вибраций грузы колеблются в противофазе с колебаниями провода, что приводит к поглощению энергии колебаний. Выбор гасителя вибраций осуществляется по сечению провода или троса. Технические характеристики виброгасителей указаны в таблице приложения Ж.

На промежуточных опорах виброгасители устанавливаются по обе стороны от поддерживающей гирлянды изоляторов. Расстояние от места крепления провода (троса) до места крепления виброгасителя определяется по выражению:

$$l = 1,3 \cdot d \cdot \sqrt{\sigma_{тср} \cdot \frac{F}{G_n}}, \quad (5.10)$$

где  $d$  – диаметр провода (троса), мм;

$F$  – фактическое сечение провода (троса), мм<sup>2</sup>;  
 $G_n$  – вес одного метра провода (троса), даН.

### 5.6 Пример выбора изоляторов и линейной арматуры

В качестве примера рассмотрим выбор типа изоляторов и арматуры для поддерживающих и натяжных гирлянд воздушной ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной на железобетонных опорах ПБ110-1 с проводами АС-120/19, проходящей во II районе по гололеду и в III районе по ветру без загрязнения атмосферы. Длина весового пролета 340 м, удельные нагрузки на провод:  $\gamma_1 = 3,44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ;  $\gamma_7 = 9,47 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ; фактическое сечение провода 136,8 мм<sup>2</sup>; напряжение в проводе в режиме максимальной нагрузки  $\sigma_{\gamma_{max}} = 13,0 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ; напряжение в проводе в режиме среднегодовой температуры  $\sigma_{tcp} = 6,79 \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ; вес одного метра провода  $G_n = 0,471$  даН/км.

1. Рассчитаем нагрузку для изоляторов поддерживающих гирлянд по формулам (5.1) и (5.2):

$$2,7 \cdot (9,47 \cdot 10^{-3} \cdot 136,8 \cdot 340 + 50) = 1324,27 \text{ даН},$$

$$5,0 \cdot (3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 136,8 \cdot 340 + 50) = 1050,0 \text{ даН}.$$

2. По таблице приложения Д выберем изолятор с такой разрушающей электромеханической нагрузкой, чтобы выполнялись условия (5.1). Выбираем изолятор типа ПС70-Д с разрушающей электромеханической нагрузкой 7000 даН:

$$1324,27 < 7000,$$

$$1050,0 < 7000,$$

т.е. условия выполняются.

3. Определим число изоляторов в поддерживающей гирлянде по формуле (5.6). Для этого по табл. 5.2 примем  $\lambda_{\text{эф}} = 1,3$  см/кВ = 13 мм/кВ и найдем  $l_{\text{эф}}$  по формулам (5.4), (5.5):

$$k = 1 + 0,5 \left( \frac{303}{255} - 1 \right) = 1,094,$$

$$l_{\text{эф}} = \frac{303}{1,094} = 276,96 \text{ мм},$$

$$n \geq \frac{13 \cdot 1,15 \cdot 110}{276,96} = 5,94.$$

Полученное значение округляем до шести и увеличиваем на один. Таким образом, число изоляторов в поддерживающей гирлянде составит семь.

4. Рассчитаем нагрузку на изолятор натяжной гирлянды по формулам (5.3):

$$2,7 \sqrt{(13,0 \cdot 136,8)^2 + \left( \frac{9,47 \cdot 10^{-3} \cdot 136,8 \cdot 340}{2} + 50 \right)^2} = 4856,8 \text{ даН,}$$

$$5,0 \sqrt{(6,79 \cdot 136,8)^2 + \left( \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 136,8 \cdot 340}{2} + 50 \right)^2} = 4689,6 \text{ даН.}$$

5. По таблице приложения Д выбираем изолятор ПС70-Д с разрушающей электромеханической нагрузкой 7000 даН:

$$4856,8 < 7000,$$

$$4689,6 < 7000,$$

т.е. условия (5.3) выполняются.

6. Число изоляторов в натяжной гирлянде примем на один больше, чем в поддерживающей гирлянде, т.е. восемь штук.

7. Рассчитаем нагрузку на арматуру поддерживающей гирлянды по формуле (5.7):

$$2,5 \cdot (9,47 \cdot 10^{-3} \cdot 136,8 \cdot 340 + 50) = 1226,2 \text{ даН.}$$

8. По таблицам приложения И, Л выбираем узел крепления гирлянды к траверсе опоры КГП-7-1, серьгу СР-7-16, ушко У1-7-16 с минимальной разрушающей нагрузкой 70 кН. По таблице приложения К выбираем глухой поддерживающий зажим ПГН-3-5 с минимальной разрушающей нагрузкой 25 кН.

9. Рассчитаем нагрузку на арматуру натяжной гирлянды по формуле (5.8):

$$2,5 \sqrt{(13,0 \cdot 136,8)^2 + \left( \frac{9,47 \cdot 10^{-3} \cdot 136,8 \cdot 340}{2} + 50 \right)^2} = 4497 \text{ даН.}$$

10. Выбираем всю ту же арматуру, что и для поддерживающей гирлянды. Для натяжной гирлянды выбираем болтовой зажим.

11. Определим фактические вес и длину поддерживающей гирлянды по формулам (5.9):

$$G_{гир.ф} = 7 \cdot 3,45 + 0,76 + 0,8 + 0,3 + 0,95 = 27,0 \text{ даН,}$$

$$\lambda_{гир.ф} = 7 \cdot 127 + 104 + 82 + 65 + 66 = 1206 \text{ мм} = 1,12 \text{ м.}$$

12. Выбор гасителя вибрации осуществим по таблице приложения Ж, учитывая марку и сечение провода. Выбираем гаситель вибрации ГПГ-1,6-11.

13. Определим расстояние от зажима до места крепления виброгасителя по выражению (5.10):

$$l = 1,3 \cdot 15,2 \cdot \sqrt{6,79 \cdot \frac{136,8}{0,471}} = 878 \text{ мм} \approx 0,88 \text{ м.}$$

## 6. Расстановка опор по профилю трассы

При расстановке опор по профилю трассы должны быть выполнены два основных условия:

а) расстояние от проводов до земли и до пересекаемых инженерных сооружений не должно быть меньше допускаемых ПУЭ,

б) нагрузки, воспринимаемые опорами, не должны превышать значений, установленных для опор данного типа.

После выполнения расстановки опор окончательно определяется число и тип используемых опор, число изоляторов и линейной арматуры и др.

### 6.1 Построение шаблона

На заданном профиле трассы расстановка опор производится с помощью специальных шаблонов. Шаблон представляет собой три кривые провисания провода, сдвинутые относительно друг друга, построенные в виде парабол для режима, при котором возникает наибольшая стрела провеса (рис. 6.1). Такими режимами могут быть либо режим гололеда без ветра, либо режим максимальной температуры.

Режим максимальной стрелы провеса определяется из анализа результатов механического расчета провода (глава 3). Он может быть также определен вычислением критической температуры, при которой стрела провеса провода при отсутствии гололеда и ветра достигает такого же значения, как и при гололеде без ветра:

$$t_k = t_2 + \frac{\sigma_{гол}}{\alpha \cdot E} \left( 1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_3} \right), \quad (6.1)$$

где  $t_2$  - температура при гололеде;

$\sigma_{гол}$  - напряжение в проводе при гололеде без ветра.

Если  $t_{max} > t_k$ , то наибольшая стрела провеса будет возникать при  $t_{max}$ , а если  $t_{max} < t_k$  - при гололеде ветра.

Кривая 1 – кривая провисания нижнего провода – строится на основе формулы стрелы провеса:

$$f_{max} = \frac{\gamma_{f_{max}} \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{f_{max}}},$$

где  $\gamma_{f_{max}}$ ,  $\sigma_{f_{max}}$  - удельная нагрузка и напряжение в проводе в режиме, отвечающем наибольшей стреле провеса  $f_{max}$ .

Для построения шаблона указанное выражение представим в виде

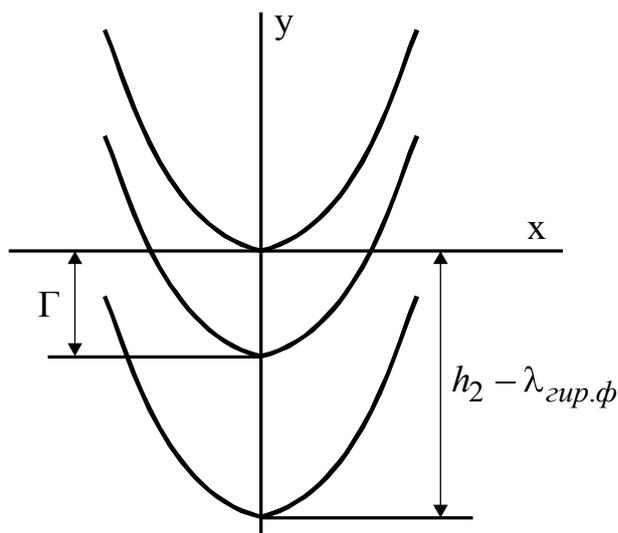


Рис. 6.1

расчётов значений  $y$ , представив их в виде таблицы:

$l$	50	100	150	200	250	300
$x$	25	50	75	100	125	150
$y$						

Кривая 2, называемая габаритной, сдвинута по вертикали вниз от кривой 1 на расстояние требуемого габарита от земли  $\Gamma$ . Кривая 3, называемая земляной, сдвинута от кривой 1 вниз на расстояние  $h_2 - \lambda_{зир.ф}$ , равное высоте подвеса нижнего провода над землей, где  $\lambda_{зир.ф}$  - фактическая длина гирлянды изоляторов,  $h_2$  - расстояние от земли до нижней траверсы опоры.

Шаблон чертится на миллиметровке, а затем переносится на кальку. До расстановки опор всю трассу разбивают на участки, ограниченные анкерными опорами. Расстановку промежуточных опор производят на каждом анкерном участке независимо от других анкерных участков.

Шаблон накладывают на профиль трассы так, чтобы кривая 3 пересекала профиль в месте установки первой анкерной опоры, а кривая 2 касалась его (рис. 6.2), при этом ось  $y$  должна быть строго вертикальна. Тогда другая точка пересечения кривой 3 с профилем будет соответствовать месту установки первой промежуточной опоры. При таком положении шаблона во всех точках пролета габарит будет не меньше допустимого. Затем шаблон передвигают, принимая за начальную первую промежуточную опору, и находят место установки второй промежуточной опоры и т. д. до конца анкерного участка. Длина последнего пролёта в конце анкерного участка может оказаться малой. В этом случае его увеличивают, уменьшая ряд длин соседних пролетов, стремясь к тому, чтобы все они были при-

уравнения:

$$y = a \cdot x^2, \quad (6.2)$$

где  $y = f_{max}$ ;  $x = \frac{l}{2}$ , тогда

$$a = \frac{\gamma f_{max}}{2 \cdot \sigma f_{max}}$$

Так при расчётной длине пролета  $l_p = 300$  м достаточно для построения кривой 1 в I квадранте рис. 6.1 выполнить шесть

мерно одинаковы.

После монтажа анкерного участка в проводах происходит выравнивание напряжения, которое соответствует какому-то условному пролёту. Этот пролёт называется приведенным, и его длина определяется из выражения:

$$l_{np} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^3}{\sum_{i=1}^n l_i}}, \quad (6.3)$$

где  $l_i$  - фактическая длина  $i$ -го пролета в анкерном участке, м;

$n$  - количество пролётов в анкерном участке.

Если длина приведенного пролёта близка к расчётному, для которого построен шаблон (отличие не более 5 %), то механический расчет проводов и тросов можно считать удовлетворительным. Если отличие  $l_{np}$  и  $l_p$  значительно, то повторяется выполнение механического расчёта при замене значения  $l_p$  на  $l_{np}$ , строится новый шаблон и заново проводится расстановка опор по профилю трассы. Допустимо изменение расстановки опор без проведения повторного механического расчета.

## 6.2 Проверка опор на прочность

При расстановке опор по профилю трассы все они должны быть проверены на прочность в реальных условиях. Вертикальные нагрузки, действующие на опору, определяются собственной массой проводов и гололеда, а горизонтальные – действием ветра. Проверку выполняют сопоставле-

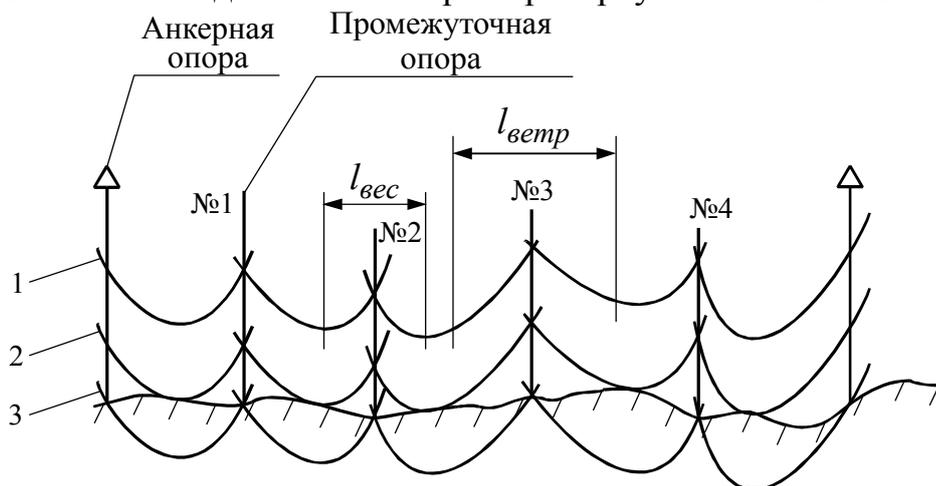


Рис. 6.2

нием вычисленных для каждой опоры весового и ветрового пролетов со значениями этих пролетов, указанных в технических характеристиках опоры.

Весовой пролет соответствует вертикальной нагрузке на опору и

определяется суммой двух смежных эквивалентных полупролётов, прилегающих к данной опоре:

$$l_{вес} = \frac{l'_{э1} + l''_{э2}}{2}. \quad (6.4)$$

Эквивалентный пролет – это условный пролет с подвеской провода на одинаковых высотах, вычисляемый по формулам:

- первый (большой) эквивалентный пролет

$$l'_{э} = l + \frac{2 \cdot \sigma_{гол} \cdot \Delta h}{\gamma_3 \cdot l}.$$

- второй (малый) эквивалентный пролет

$$l''_{э} = l - \frac{2 \cdot \sigma_{гол} \cdot \Delta h}{\gamma_3 \cdot l},$$

где  $l$  - действительная длина пролета,  $\Delta h$  – разность между высотами точек подвеса провода,  $\gamma_3$  - удельная нагрузка,  $\sigma_{гол}$  - напряжение в проводе.

Так для опоры № 2 (рис. 6.3):

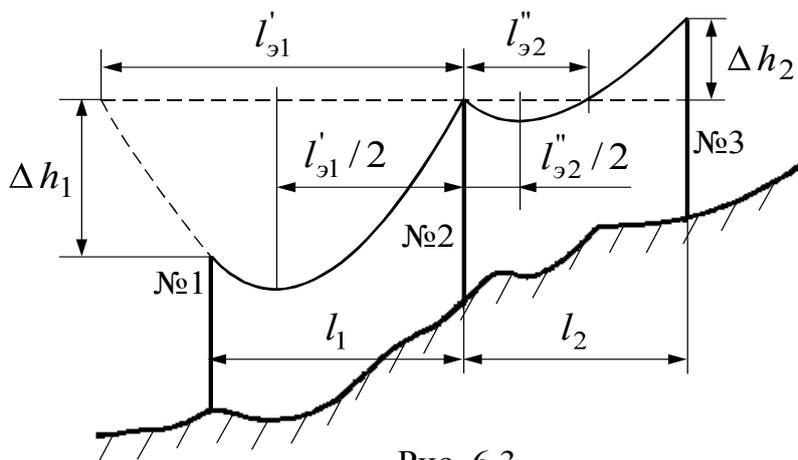


Рис. 6.3

$$l'_{э1} = l_1 + \frac{2 \cdot \sigma_{гол} \cdot \Delta h_1}{\gamma_3 \cdot l_1}$$

$$l''_{э2} = l_2 - \frac{2 \cdot \sigma_{гол} \cdot \Delta h_2}{\gamma_3 \cdot l_2}.$$

Смежными эквивалентными пролетами, прилегающими к опоре могут быть и два больших или два малых эквивалентных

пролёта. Тогда выражение (6.4) будет иметь вид:

$$l_{вес} = \frac{l'_{э1} + l'_{э2}}{2} \quad \text{или} \quad l_{вес} = \frac{l''_{э1} + l''_{э2}}{2}.$$

Очевидно, что при подвеске провода на одинаковой высоте ( $\Delta h = 0$ ) весовой пролет равен полусумме действительных пролётов:

$$l_{вес} = \frac{l_1 + l_2}{2}.$$

Ветровой пролет для каждой опоры рассчитывается как полусумма смежных пролётов:

$$l_{ветр} = \frac{l_1 + l_2}{2}. \quad (6.5)$$

Для каждой опоры должны выполняться соотношения для рассчитанных по формулам (6.4) и (6.5) фактических значений пролётов:

$$l_{ветр.ф} \leq l_{ветр},$$

$$l_{вес.ф} \leq l_{вес}.$$

Если для какой-то опоры весовой или ветровой фактический пролёт оказался больше указанного в паспортных данных, то должна быть произведена соответствующая перестановка опор на профиле трассы.

### 6.3. Проверка опор на вырывание

При расстановке опор необходимо следить за тем, чтобы точки установки опор не попали на неудобные места – болота, поймы, грунтовые дороги, крутые склоны и т.д. При расстановке опор на пересеченной местности может оказаться так, что

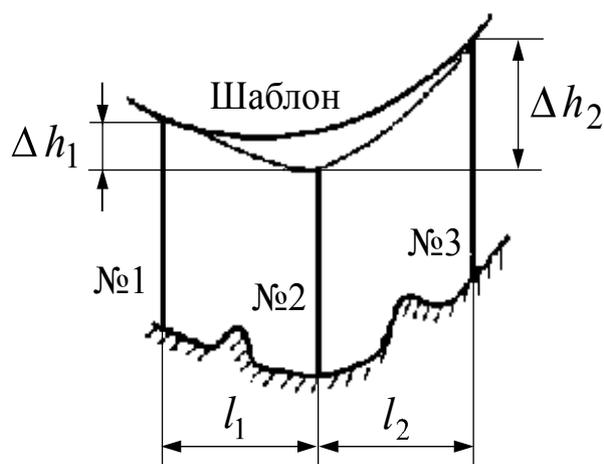


Рис. 6.4

отметка расположения какой-либо опоры будет значительно ниже отметок двух соседних опор (рис. 6.4), что при определенных условиях может привести к «вырыванию» опоры из грунта.

Проверка на вырывание производится с помощью шаблона, представляющего кривую провисания провода при минимальной стреле провеса. Шаблон рассчитывается по формуле (6.2), в которую

подставляется нагрузка  $\gamma_1$  от собственного веса провода и  $\sigma_{t_{min}}$ . Построенный таким образом шаблон накладывают на профиль так, чтобы кривая проходила через точки подвеса провода двух смежных опор, например для опор №1 и №3 (рис. 6.3). Если при этом кривая шаблона окажется выше точки крепления провода нижестоящей опоры №2, то делается вывод о том, что опора №2 будет испытывать силу, действующую вертикально вверх. Эта сила будет поднимать, «поддерживать» поддерживающую гирлянду изоляторов вверх, что может вызвать замыкание провода на землю через траверсу опоры. Для предотвращения этого проводятся следующие мероприятия: перестановка опоры №2 на более высокую отметку; ликвидация опоры №2; установка повышенной опоры №2; установка анкерной опоры вместо промежуточной №2; ослабление тяжения провода; подвеска компенсирующих грузов. Осуществление того или иного мероприятия должно быть, как технически, так и экономически обосновано. Однако на практике чаще применяют последнее.

Вырывающая сила  $V$  определяется по формуле

$$V = T \cdot (\operatorname{tg}\theta_1 + \operatorname{tg}\theta_2),$$

где  $\theta_1$  и  $\theta_2$  - углы наклона к горизонтали прямых, соединяющих точки подвеса провода на опорах №1 и №2, №2 и №3 (рис. 6.5).

Вес компенсирующего груза рекомендуется применять равным:

$$G \geq V + (0,3 \div 0,5) \cdot G_{0n} \cdot l_{заб},$$

где  $G_{0n}$  - вес одного метра провода без гололеда.

При большой разнице отметок вес груза получается очень большим и рекомендуется установка вместо низко расположенной промежуточной опоры №2 опоры анкерного типа.

Применение повышенных и пониженных опор возможно при наличии соответствующих конструкций опор используемого типа.

Ослабление тяжения может быть рекомендовано только в исключительных случаях, так как при этом увеличиваются стрелы провеса, а следовательно и число опор в анкерном участке.

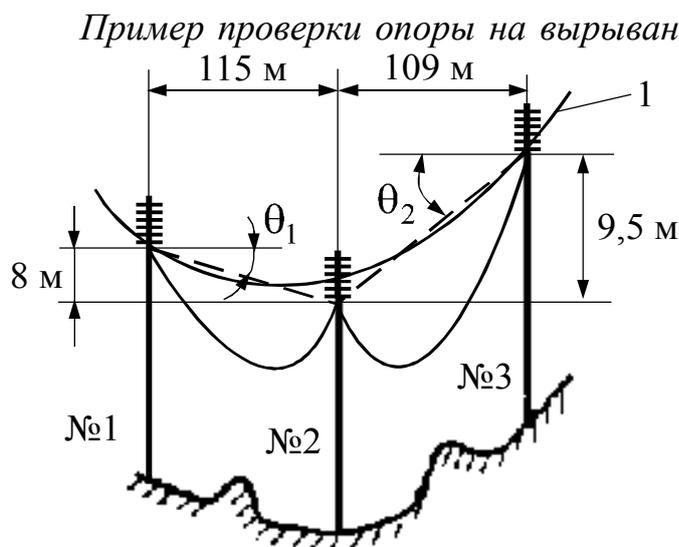


Рис. 6.5

Пример проверки опоры на вырывание. Пусть ВЛ 110 кВ проходит в IV районе по гололеду, выполнена на опорах ПБ110-5 проводом АС120/19 и имеет участок на трассе, отображенный на рис. 6.5. Кривая провисания нижнего провода (1) построена по напряжению в проводе в режиме  $t_{\min}$ . Она проходит выше точки подвеса провода опоры №2. Следовательно, на опору №2 действует вырывающая сила  $V$ , и эту силу необходимо компенсировать, например подвеской дополнительного

груза  $G$  на гирлянды опоры №2.

Рассчитаем значение вырывающей силы  $V$ :

$$\operatorname{tg}\theta_1 = \frac{8}{115} = 0,0695; \quad \operatorname{tg}\theta_2 = \frac{9,5}{109} = 0,0871; \quad T_{t_{\min}} = 452 \text{ даН};$$

$$V = 452 \cdot (0,0695 + 0,0871) = 70,8 \text{ даН}.$$

Для опоры ПБ110-5, проходящей в IV районе по гололеду  $l_{заб} = 190$  м. Вес провода АС120/19  $G_{0n} = 471 \cdot 10^{-3}$  даН/м. Вес дополнительного груза определится как:

$$G = 70,8 + 0,3 \cdot 471 \cdot 10^{-3} \cdot 190 = 91,6 \text{ даН}.$$

## 6.4 Пояснения к выполнению курсового проекта

1. Продольный профиль трассы представляет собой очертания вертикального разреза вдоль трассы. Рельеф трассы не бывает ровным и поэтому профиль изображается ломаной линией. Профиль используется для проверки вертикальных расстояний над землей, поэтому чертеж профиля выполняется в разных масштабах по вертикали и горизонтали. Рекомендуется в курсовом проекте принять масштаб по вертикали  $M_B = 1:500$ , а масштаб по горизонтали принять в зависимости от длины пролета: при  $100 < l < 200$  м -  $M_H = 1:5000$ ; при  $200 < l < 300$  м -  $M_H = 1:7500$ ; при  $300 < l < 400$  м -  $M_H = 1:10000$ .

На продольном профиле трассы обозначаются пересекаемые инженерные сооружения, а также геологический разрез, показывающий глубину залегания грунтов различных типов. Под горизонтальной линией, ограничивающей чертеж профиля, наносят сверху вниз следующие данные: отметки профиля; горизонтальные расстояния, отметки которых были измерены; пикетаж, обозначающий длину трассы в метрах; абрис, где указываются границы пересекаемых трассой полей, лугов, лесов, болот, рек, инженерных сооружений; углы поворота линии; характеристики грунтов и характеристики линии.

Пример продольного профиля трассы приведен в [4]. В задании на курсовой проект предложено лишь очертание вертикального разреза и места установки начальной и конечной опоры анкерного участка. Полный чертеж профиля трассы с расстановкой опор и геологическим разрезом разрабатывается самостоятельно и приводится в графической части проекта.

В записке на листе миллиметровки формата А4 приводится чертеж очертания вертикального разреза с указанием инженерных сооружений, расставленных опор, значений ветровых и весовых пролетов. Отдельно в записке приводится рисунок перехода через инженерное сооружение или расчет проверки опоры на вырывание.

2. При построении шаблона следует подтвердить расчётом по формуле (6.1) выбор режима, соответствующий максимальной стреле провеса.

3. В случае значительного отличия  $l_{np}$  и  $l_p$  следует выполнить механический расчет провода для длины пролета, равной  $l_{np}$ , построить новый шаблон и провести новую расстановку опор по трассе.

4. При построении шаблона и профиля трассы используется один и тот же масштаб.

5. Шаблон, по которому проводилась расстановка опор, вкладывается в пояснительную записку.

## 7. Расчёт переходов через инженерные сооружения

Под переходами через инженерные сооружения понимают пересечения проектируемой ВЛ с железными и шоссейными дорогами, другими линиями электропередачи, линиями связи, радиолиниями, трубопроводами. При этом должно обеспечиваться выполнение следующих нормативных показателей:

- 1) допустимых расстояний (габаритов) от проводов пересекающей воздушной линии до пересекаемого объекта;
- 2) допустимых расстояний от опор пересекающей воздушной линии до пересекаемого объекта;
- 3) допустимых углов пересечения воздушной линии с трассой пересекаемого объекта;
- 4) в пролёте пересечения должны быть выбраны соответствующие типы опор, изоляторов и зажимов.

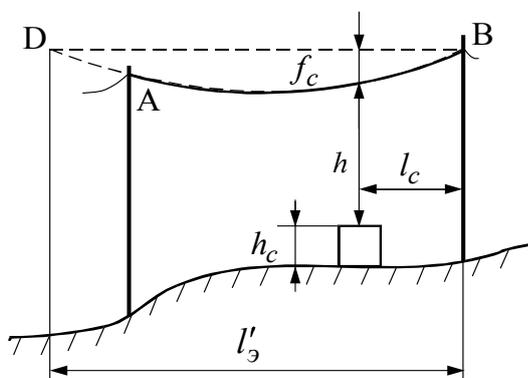


Рис. 7.2

Конкретные значения нормативных показателей для указанных выше случаев пересечений приведены в ПУЭ [1]. Расчет переходов заключается в определении расстояний от проводов проектируемой ВЛ до пересекаемого инженерного сооружения и сравнении их с допустимыми, а также в расстановке опор в пролёте пересечения.

### 7.1 Определение расстояний от проводов ВЛ до пересекаемого объекта

В первом приближении расстояние от проводов до пересекаемого инженерного сооружения можно оценить после расстановки опор по профилю трассы с помощью шаблона. Для этого нужно измерить расстояние от кривой 1 шаблона до пересекаемого сооружения и пересчитать его с учетом соответствующего масштаба. Но такая оценка будет весьма приближенной. Более точный результат дает расчет.

Действительное расстояние от нижнего провода до инженерного сооружения определяется следующим выражением (рис. 7.1):

$$h = h_2 - \lambda_{\text{sur.ф.}} - h_c - f_c, \quad (7.1)$$

где  $h_2$  – высота расположения нижней траверсы, м;

$h_c$  – высота пересекаемого сооружения, м;

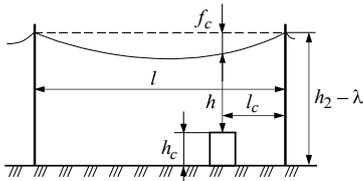


Рис. 7.1

$f_c$  – стрела провеса провода в месте пересечения, м.

Стрела провеса провода в точке, под которой находится пересекаемый объект, может быть определена по следующей формуле:

$$f_c = \frac{\gamma_{f \max} \cdot l_c}{2 \cdot \sigma_{f \max}} \cdot (l - l_c), \quad (7.2)$$

где  $l_c$  - расстояние от опоры до пересекаемого объекта, м;

$l$  - длина пролета пересечения, м;

$\gamma_{f \max}$  - удельная нагрузка провода, соответствующая режиму наибольшей стрелы провеса (режимы максимальной температуры или гололеда при отсутствии ветра);

$\sigma_{f \max}$  - напряжение провода в режиме наибольшей стрелы провеса участка.

При разной высоте точек подвеса проводов (рис. 7.2) значение стрелы провеса  $f_c$  можно определить по той же формуле, но вместо пролета  $l$  следует подставить длину большого эквивалентного пролета  $l'_3$ :

$$f_c = \frac{\gamma_{f \max} \cdot l_c}{2 \cdot \sigma_{f \max}} \cdot (l'_3 - l_c). \quad (7.3)$$

Этот пролёт получается продолжением кривой провисания провода до точки D, находящейся на одном уровне с точкой B.

Расчёты стрелы провеса  $f_c$  и расстояния  $h$  выполняются для нормального и аварийного режимов. Затем производится сравнение расстояния  $h$  с габаритными расстояниями по ПУЭ. При этом должны выполняться следующие условия:

$$\begin{aligned} h_{\text{норм}} &\leq \Gamma; \\ h_{\text{ав}} &\leq \Gamma_{\text{ав}}. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Если один пролёт пересекается с несколькими инженерными сооружениями, то проверка габаритов должна производиться для каждого из них.

Если расстояния до пересекаемых сооружений окажутся меньше допустимых, то должны быть разработаны соответствующие мероприятия. Прежде всего следует попытаться увеличить габариты путем перемещения опоры проектируемой ВЛ ближе к месту пересечения и за счет этого уменьшить стрелу провеса над инженерным сооружением. В ряде случаев допускается переустройство пересекаемой ВЛ и линии связи путем перекладки в подземные кабели. Может оказаться целесообразным применение

повышенных опор на проектируемой линии в месте пересечения.

## 7.2 Установка опор в пролёте пересечения

В курсовом проекте установку опор в пролёте пересечения можно выполнять следующим образом. В начале производят расстановку опор по профилю трассы с помощью шаблона в соответствии с методикой, описанной в разделе 6. Затем для пролета пересечения путем расчетов выполняют проверку требований ПУЭ по допустимым расстояниям (по горизонтали и по вертикали). Если все условия выполняются, то можно оставить имеющуюся расстановку опор, выбрав соответствующим образом типы опор, изоляторы и арматуру в пролете пересечения. Если условия не выполняются, то следует изменить первоначальную расстановку опор. При этом можно осуществить следующие мероприятия:

1 – выбрать место пересечения по возможности ближе к опоре воздушной линии (ВЛ), но не ближе расстояния, указанного в ПУЭ;

2 – использовать повышенные опоры;

3 – установить обе опоры пролета пересечения на наименьших допустимых расстояниях по горизонтали от пересекаемого сооружения.

После выполнения любого из указанных мероприятий производится повторная проверка расстояний от провода ВЛ до пересекаемого объекта по выражениям (7.1 – 7.4).

В случае изменения первоначальной расстановки опор расстановка промежуточных опор по обе стороны от пересечения ведется с учетом новых точек установки опор в пролете пересечения.

Если по требованию ПУЭ на пересечении необходима установка анкерных опор, то в дальнейшем рассматривают трассу, состоящую из нескольких анкерных участков. Расстановка опор в них производится независимо друг от друга.

## 7.3 Пример расчёта перехода через инженерное сооружение

В качестве примера рассмотрим расчет перехода ВЛ напряжением 110 кВ, выполненной проводами АС-120/19 на железобетонных опорах ПБ110-1 через линию связи (ЛС). Высота опор ЛС составляет 6 м. Наибольшая стрела провеса проводов ВЛ имеет место в режиме гололеда

без ветра. Удельная нагрузка в этом режиме  $\gamma_3 = 8,64 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ;

напряжение в проводе  $\sigma_{\text{гол}} = 12,29 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ . Высота крепления нижней тра-

версы на опорах ВЛ составляет 14,5 м; длина гирлянды изоляторов 1,21 м; угол пересечения проводов ВЛ с проводами ЛС составляет  $80^{\circ}$ .

Согласно ПУЭ, пересечения ВЛ 110 кВ с ЛС можно выполнять на промежуточных опорах при использовании на ЛЭП проводов сечением

120 мм<sup>2</sup> и более. В нашем случае это условие выполняется, поэтому опоры ВЛ, ограничивающие пролет пересечения устанавливаем промежуточные.

Провода и тросы ВЛ, а также провода ЛС в пролете пересечения не должны иметь соединений. Провода ВЛ должны располагаться над проводами ЛС. Расположение опор ЛС под проводами ВЛ не допускается. В пролете пересечения применяем подвесные изоляторы и глухие зажимы.

При первоначальной расстановке опор пролет пересечения имеет вид, представленный на рис. 7.3. При этом расстояние по горизонтали от ближайшей опоры ВЛ до проводов ЛС ( $l_c$ ) составляет 70 м, а длина пролёта пересечения – 230 м. Выполним проверку допустимых расстояний.

Согласно ПУЭ, минимально допустимые расстояния по горизонтали от опор ВЛ до проводов ЛС составляют 7 м, а по вертикали от проводов ВЛ до проводов ЛС – 3 м. Действительное расстояние по горизонтали значительно превышает допустимое, т. е. условие выполняется.

Для проверки соблюдения расстояния по вертикали рассчитаем стрелу провеса проводов ВЛ над проводами ЛС по выражению (7.2):

$$f_c = \frac{8,64 \cdot 10^{-3} \cdot 70}{2 \cdot 12,29} \cdot (230 - 70) = 3,94 \text{ м.}$$

Определим действительное расстояние от нижнего провода ВЛ до проводов ЛС по формуле (7.1):

$$h = 14,5 - 1,21 - 6,0 - 3,94 = 3,35 \text{ м,} \quad \text{т. е. } h > G.$$

Таким образом, оба условия для нормального режима ВЛ выполняются – значит оставляем первоначальную расстановку опор.

Выполним проверку допустимого расстояния по вертикали в аварийном режиме ВЛ. Будем считать, что пролет пересечения является пятым

пролетом на рис. 4.3. Для этого случая определим стрелу провеса проводов ВЛ над проводами ЛС в аварийном режиме по выражению (7.2):

$$f_{c.ав} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 70}{2 \cdot 3,59} \cdot (230 - 70) = 5,37 \text{ м.}$$

При расчете  $f_{c.ав}$  использованы значения редуцированного напряжения и удельной нагрузки при среднегодовой температуре, определенные в п. 4.5.

Определим действительное расстояние от проводов ВЛ до

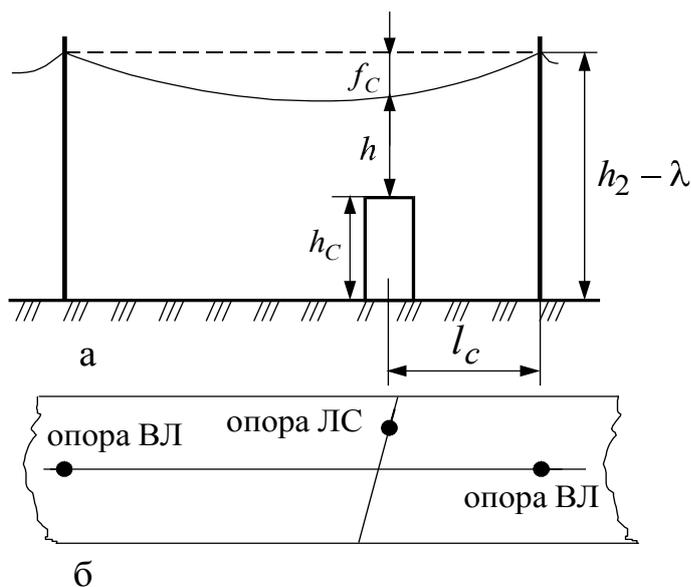


Рис. 7.3. Профиль (а) и абрис (б) пролета пересечения

проводов ЛС в аварийном режиме по выражению (7.1):

$$h_{ав} = 14,5 - 1,21 - 6,0 - 5,37 = 1,92 \text{ м.}$$

Минимально допустимое расстояние по вертикали между проводами ВЛ и проводами ЛС в аварийном режиме, согласно ПУЭ, составляет 1 м, т.е.:

$$h_{ав} > \Gamma_{ав},$$

следовательно, в аварийном режиме исключено опасное сближение проводов ВЛ и ЛС.

Место расположения инженерного сооружения в курсовом проекте задается преподавателем, высота сооружений принимается по табл. 7.1.

Таблица 7.1

Объект	Линия связи	Радиолиния	Не электрифицированная железная дорога	Автомобильная дорога I-V категории	Трубопровод
Высота объекта $h_c$ , м	6 – 8	5 – 8	1,5 – 2,5 (до головки рельса)	1 – 1,5	1,5 – 2
Ширина объекта, м	–	–	одного пути – 1,5; двух путей – 8,2	28 ÷ 8	–

## 8. Расчёт монтажных стрел провеса проводов и тросов

### 8.1 Порядок расчёта монтажных стрел провеса проводов

Правильное определение величин стрел провеса провода для условий монтажа является важной задачей, т.к. если при этом стрела провеса будет занижена, то напряжение в ряде режимов может превысить допустимое. Завышение стрелы провеса вызовет нарушение габарита.

Результатами монтажных расчётов являются зависимости напряжения, тяжения и стрелы провеса в пролете известной длины от температуры окружающей среды в диапазоне от  $t_{min}$  до  $t_{max}$ . Они могут быть представлены как в виде таблиц, так и в виде графиков, приведенных на рис. 8.1.

Несмотря на то, что расчет монтажных стрел провеса провода должен выполняться для всех пролетов анкерного участка, в действительности достаточно получить указанные зависимости для пролетов наименьшей  $l_{min}$

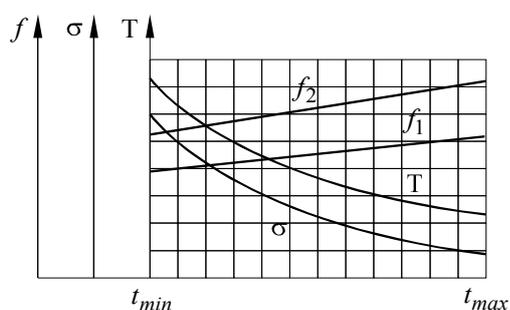


Рис. 8.1. Монтажный график провода

и наибольшей  $l_{max}$  длины. Имея такие зависимости можно получить интересное значение стрелы провеса для любого пролета анкерного участка.

Учитывая то, что монтаж проводов проводится в отсутствие ветра и гололеда, но при любой температуре воздуха, монтажный расчёт, в отличие от механиче-

ского расчёта провода, проводится для режимов, которые характеризуются удельной нагрузкой  $\gamma_1$  и температурой монтажа  $t_m$ . Другое отличие состоит в том, что в качестве длины пролёта должна быть принята величина приведенного пролёта  $l_{np}$ .

Перед выполнением монтажного расчёта необходимо определить исходный режим из соотношений величин трёх критических пролетов  $l_{к1}, l_{к2}, l_{к3}$  и приведённого пролёта  $l_{np}$ . Однако, если величина  $l_{np}$  отличается от величины  $l_p$  менее чем на 5 %, то в качестве исходного может быть принят режим, определённый ранее для механического расчёта провода.

Расчёт напряжения при монтаже осуществляется с помощью уравнения:

$$\sigma_m - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} = [\sigma_u] - \frac{\gamma_u^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma_u]^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_m - t_u). \quad (8.1)$$

Стрела провеса провода в интересующем пролете  $l_\phi$  определяется из выражения:

$$f = \frac{\gamma_1 \cdot l_\phi^2}{8 \cdot \sigma_m}, \quad (8.2)$$

где  $l_\phi$  - длина фактического пролёта, полученного в результате расстановки опор по трассе, м.

Тяжение в проводе рассчитывается по формуле:

$$T_m = \sigma_m \cdot F. \quad (8.3)$$

Расчёт монтажных стрел провеса выполняется в следующей последовательности:

1) С помощью уравнения (8.1) определяют значение напряжения, возникающего в проводе при монтаже в диапазоне температур от  $t_{min}$  до  $t_{max}$ . В курсовом проекте допускается «вручную» выполнить расчёт для двух крайних значений температур, а остальные расчеты выполнять с помощью программы «MERA2».

2) Для найденных значений  $\sigma_m^{t_{max}}$  и  $\sigma_m^{t_{min}}$  определяют величины стрел провеса провода в пролете наименьшей длины  $l_{min}$ , полученном в результате расстановки опор по трассе, согласно выражению (8.2):

$$f_{t_{max}}^{l_{min}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{min}^2}{8 \cdot \sigma_m^{t_{max}}}, \quad f_{t_{min}}^{l_{min}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{min}^2}{8 \cdot \sigma_m^{t_{min}}}.$$

3) Аналогично определяются монтажные стрелы провеса для пролёта наибольшей длины  $l_{max}$ :

$$f_{t_{max}}^{l_{max}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{max}^2}{8 \cdot \sigma_m^{t_{max}}}, \quad f_{t_{min}}^{l_{max}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{max}^2}{8 \cdot \sigma_m^{t_{min}}}.$$

4) По выражению (8.4) определяют величины тяжения для различных

температур.

5) Результаты расчётов представляют в табличной форме и в виде зависимостей  $\sigma_m = \varphi_1(t_m)$ ,  $T_m = \varphi_2(t_m)$ ,  $f^{l_{max}} = \psi_1(t_m)$ ,  $f^{l_{min}} = \psi_2(t_m)$ . Эти зависимости допускается приводить на одной координатной плоскости.

Шаг изменения температур рекомендуется принимать равным  $5^{\circ}\text{C}$ .

## 8.2 Порядок расчёта монтажных стрел провеса грозозащитного троса

Расчёт монтажных стрел провеса грозозащитного троса выполняется по условию требуемой защиты элементов ВЛ тросом в грозовом режиме. Пролеты в анкерном участке имеют разную длину, поэтому требуемое расстояние по вертикали в середине пролёта между верхним проводом и тросом  $z$  будет различным. ПУЭ допускают соблюдение расстояния  $z$  для пролёта, длина которого равна габаритному пролёту  $l_{габ}$ , т.е. считается, что в этом случае обеспечивается удовлетворительная защита тросом всех элементов ВЛ во всех пролетах анкерного участка. Порядок расчёта монтажных стрел провеса троса следующий:

1. Определяют стрелу провеса провода в габаритном пролёте при  $t = 15^{\circ}\text{C}$ :

$$f_{15} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{габ}^2}{8 \cdot \sigma_m^{15}}, \quad (8.4)$$

где  $\sigma_m^{15}$  - напряжение в проводе в приведенном пролёте при  $t = 15^{\circ}\text{C}$ , определенное по выражению (8.1) или по графику  $\sigma_m = \varphi_1(t_m)$ .

2. Определяют стрелу провеса троса в габаритном пролёте в режиме грозы исходя из требуемого расстояния  $z$  для габаритного пролёта:

$$f_{зр}^m = f_{15} + \lambda_{зур.ф.} + h_1 - z, \quad (8.5)$$

где  $\lambda_{зур.ф.}$  - фактическая длина гирлянды изоляторов.

3. Вычисляют напряжение в тросе в грозовом режиме из выражения:

$$\sigma_{зр}^m = \frac{\gamma_1^m \cdot l_{габ}^2}{8 \cdot f_{зр}^m}. \quad (8.6)$$

4. Из уравнения состояния определяют напряжение в тросе  $\sigma_m^m$  при температуре монтажа  $t_m$ , принимая в качестве исходного грозовой режим:

$$\sigma_m^m - \frac{(\gamma_1^m)^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E^m}{24 \cdot (\sigma_m^m)^2} = \sigma_{зр}^m - \frac{(\gamma_1^m)^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E^m}{24 \cdot (\sigma_{зр}^m)^2} - \alpha^m \cdot E^m \cdot (t_m - 15). \quad (8.7)$$

В курсовом проекте «вручную» достаточно произвести расчёт напряжения в тросе в режиме монтажа при температуре  $t_{min}$ , а расчёты для других значений  $t_M$  выполнить с помощью программы «MERA2».

5. Рассчитывают стрелу провеса троса в пролете наименьшей длины  $l_{min}$  по выражению:

$$f_{t_{min}}^{ml_{min}} = \frac{\gamma_1^m \cdot l_{min}^2}{8 \cdot \sigma_M^{mt_{min}}}, \quad (8.8)$$

где  $\sigma_M^{mt_{min}}$  - напряжение в тросе в режиме монтажа при  $t_{min}$ .

6. Проводят аналогичные расчеты для пролета наибольшей длины  $l_{max}$ :

$$f_{t_{min}}^{ml_{max}} = \frac{\gamma_1^m \cdot l_{max}^2}{8 \cdot \sigma_M^{mt_{min}}}. \quad (8.9)$$

7. Определяют величину тяжения в тросе по выражению:

$$T_M^m = \sigma_M^m \cdot F^m. \quad (8.10)$$

8. Для других значений температуры  $t_M$  рассчитывают указанные выше величины и получают зависимости  $\sigma_M^m = \varphi_1(t_M)$ ,  $T_M^m = \varphi_2(t_M)$ ,  $f_{t_{min}}^{ml_{max}} = \psi_1(t_M)$ ,  $f_{t_{min}}^{ml_{min}} = \psi_2(t_M)$ , которые представляют в табличном виде и в виде графиков.

### 8.3 Пример расчёта монтажных графиков

В качестве примера рассмотрим построение монтажных графиков для ВЛ 110 кВ, выполненной на опорах ПБ110-8 проводом АС185/29. При этом известны значения  $E = 8,25 \cdot 10^3 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ,  $\alpha = 19,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{0^\circ\text{C}}$ ,  $l_{заб} = 205 \text{ м}$ .

В результате проведенных ранее расчётов определены значения  $\gamma_1 = 3,46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ,  $\sigma_{\gamma_{max}} = 13 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ,  $\gamma_{max} = 14,732 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ,  $l_{np} = 199,1 \text{ м}$ ,  $\lambda_{зирф.} = 1,21 \text{ м}$ . Величина  $z$  определена по таблице 3.1 для пролёта, равного  $l_{заб} = 205 \text{ м}$  методом линейной интерполяции. Она составила  $z = 4,08 \text{ м}$ . Исходным режимом при выполнении механического расчёта провода являлся режим наибольшей нагрузки.

С помощью уравнения состояния (8.1) рассчитаем напряжение в проводе при температуре монтажа  $t_{max} = +40^0\text{C}$  и  $t_{min} = -10^0\text{C}$ . В результате получим:

$$\sigma_M^{t_{max}} = 3,31 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}; \quad \sigma_M^{t_{min}} = 4,47 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

Для наибольшего пролета  $l_{max} = 220$  м и наименьшего пролёта  $l_{min} = 170$  м, определенных при расстановке опор, соответственно стрелы провеса при максимальной и минимальной температуре, рассчитанные по формуле (8.2) будут иметь следующие значения:

$$l_{max} = 220 \text{ м} : f_{t_{max}}^{l_{max}} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 220^2}{8 \cdot 3,31} = 6,32 \text{ м},$$

$$f_{t_{min}}^{l_{max}} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 220^2}{8 \cdot 4,47} = 4,68 \text{ м},$$

$$l_{min} = 170 \text{ м} : f_{t_{max}}^{l_{min}} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 170^2}{8 \cdot 3,31} = 3,78 \text{ м},$$

$$f_{t_{min}}^{l_{min}} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 170^2}{8 \cdot 4,47} = 2,80 \text{ м}.$$

Напряжение в проводе при температуре  $+15^{\circ}\text{C}$  рассчитано аналогично и равно  $\sigma_{m15} = 3,78 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ . Определим стрелу провеса провода в пролете  $l_{gab}$  по формуле (8.4):

$$f_{15} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 205^2}{8 \cdot 3,78} = 4,81 \text{ м}.$$

Стрела провеса троса согласно (8.5):

$$f_{zp}^m = 4,81 + 1,21 + 3 - 4,08 = 4,94 \text{ м}.$$

Из исходных данных для троса известны  $E^m = 20 \cdot 10^3 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ,  $\sigma_{zp} = 6,914 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ,  $\alpha^m = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$  и  $\gamma_1^m = 8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ .

Определим величину напряжения в тросе по известной величине  $f_{zp}^m$ , используя выражение (8.6):

$$\sigma_{zp}^m = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 205^2}{8 \cdot 4,94} = 8,51 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

Принимая в качестве исходного режима для троса режим грозы, по выражению (8.7) определим напряжение в тросе в режиме монтажа при минимальной температуре  $t_{min} = -10^{\circ}\text{C}$ :

$$\sigma_{m}^{m.t_{min}} = 9,41 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

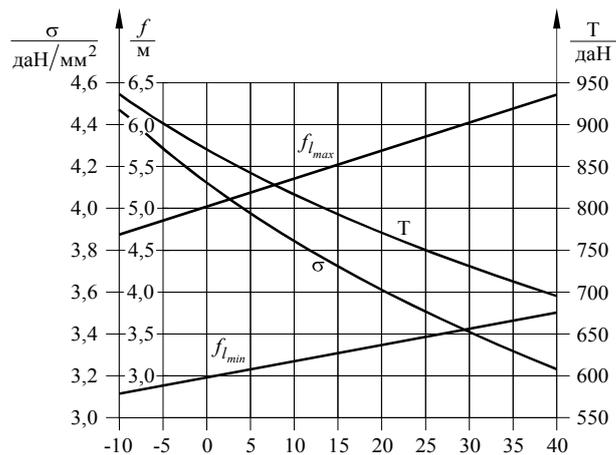


Рис. 8.2. Монтажные графики провода  
Монтажные графики для провода приведены на рис. 8.2.  
Аналогичные графики строятся для троса.

В пролете длиной  $l_{max} = 220$  м стрела провеса троса равна  $f_{t_{min}}^{m.l_{max}} = 5,14$  м, в пролете длиной  $l_{min} = 170$  м она составила  $f_{t_{min}}^{m.l_{min}} = 3,07$  м.

Остальные расчеты выполнялись для провода и троса на ПК по программе «MERA2», в результате получены следующие значения, представленные в виде монтажных таблиц 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1. Монтажная таблица провода

Температура, градус °С	Напряжение, даН/мм <sup>2</sup>	Тяжение, ДаН	Стрела провеса в пролете длиной, м	
			220	170
-10	4,47	938,07	4,69	2,80
-5	4,31	903,96	4,86	2,90
0	4,16	872,66	5,04	3,01
5	4,02	843,89	5,21	3,11
10	3,89	817,39	5,39	3,21
15	3,78	792,90	5,54	3,31
20	3,67	770,21	5,71	3,41
25	3,57	749,15	5,87	3,51
30	3,47	720,53	6,03	3,60
35	3,39	711,22	6,18	3,69
40	3,31	694,05	6,33	3,78

Таблица 8.2. Монтажная таблица троса

Температура, градус °С	Напряжение, даН/мм <sup>2</sup>	Тяжение, даН	Стрела провеса в пролете длиной, м	
			220	170
-10	9,41	457,41	5,14	3,07
-5	9,22	447,90	5,25	3,14
0	9,03	438,87	5,36	3,20
5	8,85	430,30	5,47	3,26
10	8,69	422,14	5,57	3,33
15	8,50	414,38	5,68	3,39
20	8,37	406,97	5,78	3,45
25	8,23	399,91	5,88	3,51
30	8,09	393,16	5,98	3,57
35	7,96	386,71	6,08	3,63
40	7,83	380,53	6,18	3,69

### 9. Рекомендации для выполнения курсового проекта «Механическая часть воздушных линий электропередачи»

Документом, в соответствии с которым выполняется курсовой проект, является заверенный руководителем бланк задания, где указываются: исходные данные, необходимые для выполнения расчётов; основные разделы проекта; объем и содержание пояснительной записки (ПЗ) и графической части; разделы проекта, исключаемые руководителем из задания; дата выдачи и дата сдачи проекта на рецензию по плану. Бланк задания в обязательном порядке подшивается к ПЗ вместе с контуром продольного профиля трассы. Изображение контура оформляется на отдельном листе формата А4, который заверяется подписью руководителя проекта с указанием масштабов, даты выдачи и мест установки анкерных опор.

При наличии дополнительной информации, задаваемой руководителем, она отражается во «Введении» ПЗ. Дополнительной информацией является:

- степень загрязненности атмосферы в районе предполагаемого строительства линии;
- наличие месторасположения и характеристика пересекаемого объекта;
- характеристика грунтов и т.д.

Пояснительная записка и графическая часть проекта должны быть оформлены в соответствии с требованиями, изложенными в [14]. При выполнении одинаковых повторяющихся расчетов, например, расчетов, связанных с итерационными способами решения кубического уравнения, допускается подробно приводить в ПЗ только решение первого уравнения. Остальные случаи могут быть приведены в укороченном виде.

Рекомендуемый порядок выполнения курсового проекта.

1. В соответствии с заданием определяют конструкцию и физико-механические характеристики провода и троса. В ПЗ характеристики приводятся в виде таблиц, а конструкции – в виде эскизов, оформленных как рисунки.

2. Производят выбор промежуточной опоры в соответствии с указаниями данного пособия. При этом в ПЗ отражаются технические характеристики выбранной опоры с изображением ее эскиза.

3. Определяют удельные нагрузки, действующие на провода и трос. Результатами расчета данного раздела являются рассчитанные в соответствии с указаниями главы 3 удельные нагрузки  $\gamma_1 \div \gamma_7$  для провода и  $\gamma_1^m \div \gamma_7^m$  - для троса.

4. Определяют исходный режим для механического расчёта провода и в соответствии с рекомендациями главы 3 производят расчёт провода в режиме высшей температуры и в грозовом режиме. Расчеты остальных режимов допускается производить либо «вручную», либо с помощью программы «МЕРА2». Исходными данными для расчёта по программе являются следующие величины:

- допустимое напряжение,  $\frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ :
  - при среднегодовой температуре  $[\sigma_{tcp}]$ ,
  - при наибольшей нагрузке  $[\sigma_{\gamma max}]$ ;
- температура,  $^{\circ}\text{C}$ :
  - низшая  $t_{min}$ ,
  - среднегодовая  $t_{cp}$ ,
  - высшая  $t_{max}$ ;
- удельная нагрузка,  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ :
  - от веса провода  $\gamma_1$ ,
  - от веса провода и гололёда  $\gamma_3$ ,
  - наибольшая  $\gamma_7$  (или  $\gamma_6$ );
- модуль упругости  $E$ ,  $\frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ;
- температурный коэффициент  $\alpha$ ,  $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ ;
- расчетная длина пролёта  $l_p$ , м;
- первый критический пролёт  $l_{к1}$ , м;
- второй критический пролёт  $l_{к2}$ , м;
- третий критический пролёт  $l_{к3}$ , м;

- напряжение в проводе в режиме высшей температуры  $\sigma_{tmax}, \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ ;

- напряжение в проводе в грозовом режиме  $\sigma_{gp}, \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ .

Результаты расчёта режимов рекомендуется оформить в виде таблицы.

В ПЗ должна быть приведена проверка провода на прочность и на соблюдение габарита.

5. Производят расчёт троса в соответствии с указаниями главы 3. Механический расчёт троса в курсовом проекте также допускается осуществлять либо «вручную», либо с помощью программы «MERA2». Для этого находят напряжения, возникающие в тросе в режиме среднегодовой температуры «вручную». Дополнительные данные для расчета троса по программе «MERA2»:

- расстояние от верхней траверсы до точки крепления троса к опоре  $h_1, \text{м}$ ;

- длина гирлянды изоляторов  $\lambda, \text{м}$ ;

- наибольшая удельная нагрузка на трос  $\gamma_7^m$  (или  $\gamma_6^m$ ),  $\frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ ;

- напряжение в тросе при среднегодовой температуре  $\sigma_{иср}^m, \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$ .

Результаты расчётов всех режимов рекомендуется приводить в виде таблицы. В ПЗ также должны быть отражены результаты всех необходимых проверок троса.

6. В соответствии с рекомендациями главы 5 выбирают линейную арматуру и изоляторы для проводов и троса. В ПЗ должны быть приведены типы выбранных элементов с указанием технических характеристик и их эскизы.

7. Производят расстановку опор по заданному профилю трассы. При этом необходимо руководствоваться рекомендациями главы 6 и 7. Результаты расстановки опор по трассе приводятся в виде рисунка с указанием всех необходимых величин. К таким величинам относятся: фактические пролеты, полученные в результате расстановки, фактические ветровые и весовые пролеты для всех промежуточных опор, номера опор в анкерном участке, габаритные размеры объекта пересечения, масштабы. В ПЗ также приводят результаты всех проверок для нормального и послеаварийного режимов.

8. Производят расчёт монтажных стрел провеса провода и троса в соответствии с рекомендациями главы 8 для анкерного участка. Указанные расчёты допускается выполнять как «вручную», так и с помощью программы «MERA2». Необходимые данные для расчёта монтажных стрел по программе:

- длина приведенного пролёта  $l_{np}$ , м;
- длина габаритного пролёта  $l_{габ}$ , м;
- длина фактического пролёта, для которого производится расчёт монтажных стрел провеса  $l_{max}$  (или  $l_{min}$ ), м;
- шаг изменения температуры  $\Delta t$ , °С;
- фактическое сечение провода  $F$ , мм<sup>2</sup>;
- фактическое сечение троса  $F^m$ , мм<sup>2</sup>;
- фактическая длина гирлянды изоляторов  $\lambda_{зур.ф}$ , м;
- стрела провеса провода в пролете  $l_{max}$  (или  $l_{min}$ ) при низшей температуре  $f_{tmin}^{l_{max}}$  (или  $f_{tmin}^{l_{min}}$ ), м;
- стрела провеса провода в пролете  $l_{max}$  (или  $l_{min}$ ) при высшей температуре  $f_{tmax}^{l_{max}}$  (или  $f_{tmax}^{l_{min}}$ ), м;
- стрела провеса троса в пролете  $l_{max}$  (или  $l_{min}$ ) при низшей температуре  $f_{tmin}^{m.l_{max}}$  (или  $f_{tmin}^{m.l_{min}}$ ), м.

Результаты расчётов приводятся в табличном виде и виде монтажных графиков.

Графическая часть проекта выполняется на листе формата А1. Содержание графической части определяется руководителем проекта и отражается в бланке задания. Пример компоновки листа графической части изображен на рис. 11.1.

Приложение А

Таблица А1

Физико-механические характеристики проводов

Характеристика	Марка провода							
	АС70/11	АС95/16	АС120/19	АС150/2 4	АС185/2 9	АС240/3 2	АС300/3 9	АС400/5 1
1. Сечение, мм <sup>2</sup> :								
алюминиевой части	68	95,4	118	149	181	244	301	394
стальной части	11,3	15,9	18,8	24,2	29	31,7	38,6	54,1
суммарное	79,3	111,3	136,8	173,2	210	275,7	339,6	448,1
2. Диаметр провода, мм	11,4	13,6	15,2	17,1	18,8	21,6	24	27,5
3. Количество и диаметр про- волоков:								
алюминиевых, шт×мм	6×3,8	6×4,5	26×2,4	26×2,7	26×3	24×3,6	24×4	54×3,05
стальных, шт×мм	1×3,8	1×4,5	7×1,85	7×2,1	7×2,3	7×2,4	7×2,65	7×3,05
4. Количество повивов, шт:								
алюминиевой части	1	1	2	2	2	2	2	3
стальной части	-	-	1	1	1	1	1	1
5. Вес провода, даН/км	274	384	471	600	728	921	1132	1490
6. Модуль упругости, даН/мм <sup>2</sup>	8,25×10 <sup>3</sup>	7,7×10 <sup>3</sup>	7,7×10 <sup>3</sup>	7,7×10 <sup>3</sup>				

7. Температурный коэффициент линейного удлинения, град <sup>-1</sup>						19,8×10 <sup>-6</sup>	19,8×10 <sup>-6</sup>	19,8×10 <sup>-6</sup>
8. Предел прочности, даН/мм <sup>2</sup>	19,2×10 <sup>-6</sup>							
9. Удельная нагрузка от собственного веса, даН/м×мм <sup>2</sup>	29	29	29	29	29	27	27	27
10. Допустимое напряжение, даН/мм <sup>2</sup> : при среднегодовой температуре	3,46×10 <sup>-3</sup>	3,34×10 <sup>-3</sup>	3,34×10 <sup>-3</sup>	3,34×10 <sup>-3</sup>				
при низшей температуре	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,1	8,1	8,1
при наибольшей нагрузке	11,6	11,6	13,0	13,0	13,0	12,2	12,2	12,2
	11,6	11,6	13,0	13,0	13,0			



## Приложение В

Таблица В1

Основные размеры и область применения унифицированных железобетонных и металлических промежуточных опор

Шифр опоры	Рисунок	Размеры по рисунку В1, м								Марка провода	Район по гололеду
		H	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	в		
П110-1	В1,а	25,0	2,0	19,0	4,0	2,0	4,1	2,0	2,5	АС70-АС95	I-II
П110-3	В1,а	25,0	2,0	19,0	4,0	2,1	4,2	2,1	2,8	АС120-АС240	I-II
П110-5	В1,а	28,0	3,0	19,0	6,0	2,1	4,2	2,1	2,8	АС70-АС240	III-IV
П110-2	В1,б	31,0	4,0	19,0	4,0	2,0	4,1	2,0	2,5	АС70-АС95	I-II
П110-4	В1,б	31,0	4,0	19,0	4,0	2,1	4,2	2,1	2,8	АС120-АС240	I-II
П110-6	В1,б	35,0	4,0	19,0	6,0	2,1	4,2	2,1	2,8	АС70-АС240	III-IV
П220-3	В1,а	36,0	4,0	25,5	6,5	3,9	6,1	3,5	5,0	АС300-АС400	I-IV
П220-2	В1,б	41,0	5,5	22,5	6,5	4,2	6,4	3,5	5,4	АС300-АС400	I-IV

ПБ110-1	В1,в	22,6	2,0	14,5	3,0	2,0	3,5	2,0	3,0	AC70-AC150	I-II
ПБ110-3	В1,в	22,6	2,0	14,5	3,0	2,0	3,5	2,0	3,0	AC185-AC240	I-II
ПБ110-5*	В1,в	22,6	2,0	14,5	4,0	2,0	3,5	2,0	3,0	AC70-AC240	III-IV
	В1,г	22,6	2,7	13,5	3,0	2,0	3,5	2,0	3,0	AC70-AC120	I-II
ПБ110-2*	В1,г	26,0	3,0	13,5	3,0	2,0	3,5	2,0	3,3	AC120-AC240	I-II
	В1,г	22,6	2,7	11,5	4,0	2,0	3,5	2,0	3,0	AC70-AC120	III-IV
ПБ110-4	В1,г	26,0	3,0	13,5	4,0	2,0	3,5	2,0	3,3	AC150-AC240	III-IV
ПБ110-6*	В1,в	26,0	2,5	16,0	5,5	2,8	4,8	2,8	3,3	AC300-AC400	I-III
	В1,в	26,0	2,5	14,5	7,0	2,8	4,8	2,8	3,3	AC300-AC400	IV
ПБ110-8*	В1,в	22,6	2,0	15,5	3,0	1,0	2,5	1,0	3,0	AC95-AC150	I-II
	В1,в	22,6	2,0	14,5	4,0	1,75	1,75	1,0	3,0	AC95-AC150	III-IV
ПБ220-1*	В1,г	22,6	3,7	12,5	3,0	1,75	2,5	1,75	3,0	AC95-AC150	I-II
	В1,г	22,6	3,7	10,5	4,0	1,75	2,5	1,75	3,0	AC95-AC150	III-IV
ПБ220-1*	В1,а	21,0	3,0	14,0	4,0	2,0	3,3	2,0	1,8	AC70-AC150	I-IV
	В1,б	23,0	3,0	12,0	4,0	2,0	3,3	2,0	1,8	AC70-AC150	I-IV
ПБ35-1*											
ПБ35-3*											
ПБ35-2*											
ПБ35-4*											
ПЗ5-1											
ПЗ5-2											

**Примечание 1** – размер  $h_1$  показывает расстояние от верхней траверсы до места подвески троса. Пунктиром показано наличие на некоторых типах опор тросостоек; 2 – для железобетонных опор высотой  $H = 22,6$  м (26 м) верхний и нижний диаметры стоек соответственно равны 440 и 650 мм (416 и 650 мм); \* - для крепления троса используется тросостоек

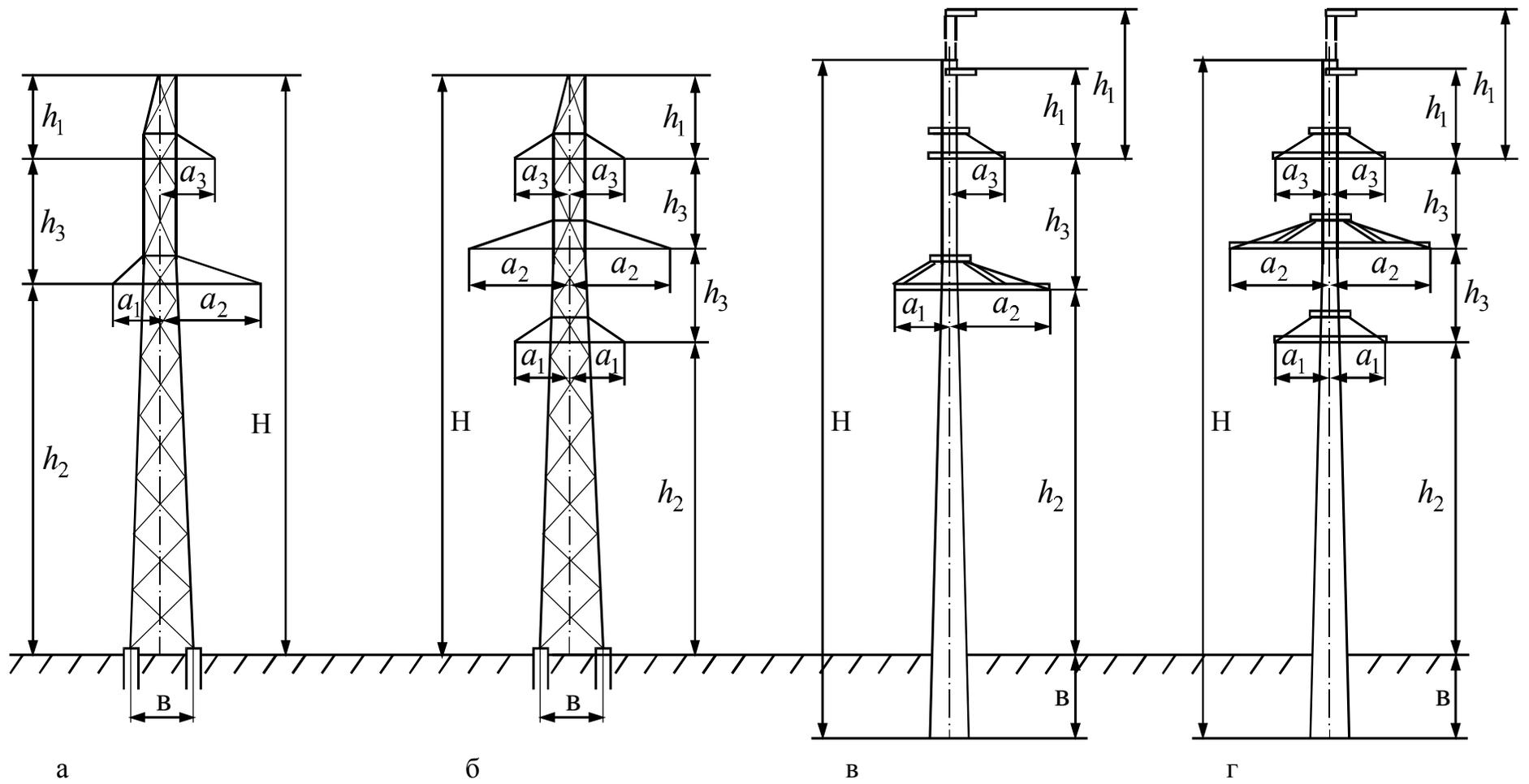


Рис. В1. Унифицированные стальные (а,б) и железобетонные (в,г) промежуточные опоры

Приложение Г

Таблица Г1

Технические характеристики унифицированных опор

Шифр опоры	Марка провода	Район по гололеду	Пролет, м			Масса, т
			габаритный	ветровой	весовой	
1	2	3	4	5	6	7
П110-1	до АС70 до АС95	I,II	355;280	355	445;380	1,95
		I,II	375;305	375	470;380	
П110-3	АС120	I,II	405;345	405	505;430	2,55
	АС150	I,II	405;365	405	505;455	
	АС185	I,II	405;380	405	505;475	
	АС240	I,II	395;380	395	495;475	
П110-5	АС70	III,IV	225;190	225	280;240	2,67
	АС95	III,IV	250;210	250	315;265	
	АС120	III,IV	290;285	290;245	305	
	АС150	III,IV	310;265	310	390;330	
	АС185	III,IV	325;280	325	405;380	
	АС240	III,IV	330;290	330	415;380	
П110-2	АС70	I,II	355;280	355	445;380	2,73
	АС95	I,II	375;305	375	470;380	
П110-4	АС120	I,II	405;345	405	505;430	3,31
	АС150	I,II	405;365	405	505;455	
	АС185	I,II	405;380	405	505;475	
	АС240	I,II	395;380	395	495;475	
П110-6	АС70	III,IV	225;190	225	280;240	3,86
	АС95	III,IV	250;210	250	315;265	
	АС120	III,IV	290;245	290	365;305	
	АС150	III,IV	310;265	310	390;330	
	АС185	III,IV	325;280	325	405;350	
	АС240	III,IV	330;290	330	415;360	
П220-3	АС400	I,II	475	475	595	4,85
		III,IV	475	475	545;490	
П220-2	АС300	I,II	425;420	425	530;525	6,32
		III,IV	375;330	425	470;415	
	АС400	I,II	425	425	530	
		III,IV	390;385	425	490;440	
ПБ110-1	АС70	I,II	275;215	300	345;270	4,82
	АС95	I,II	285;240	335	355;300	
	АС120	I,II	300;270	350	375;340	
	АС150	I,II	300;285	325	375;355	
ПБ110-3	АС185	I,II	305;295	350	380;370	5,24
	АС240	I,II	295;285	335	370	

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7
ПБ11-5	АС70	III,IV	175;145	245;205	220;180	5,28
	АС95	III,IV	195;165	275;230	250;200	
	АС120	III,IV	225;190	305;235	260;240	
	АС150	III,IV	240;210	286;225	300;260	
	АС185	III,IV	305;295	350	380;370	
	АС240	III,IV	295	335	370	
ПБ110-2	АС70	I,II	250;200	280	310;250	5,5
	АС95	I,II	260;220	245	325;275	
	АС120	I,II	275;250	220	275	
ПБ110-4	АС120	I,II	275;250	335	345;315	7,4
	АС150	I,II	275;260	365	345;330	
	АС185	I,II	275	285	345	
	АС240	I,II	275	275	330	
ПБ110-6	АС70	III,IV	135;110	185;145	170;135	5,1
	АС95	III,IV	150;125	175;140	185;155	
	АС120	III,IV	170;145	160;130	210;180	
ПБ110-8	АС150	III,IV	225;190	250;205	280;240	7,5
	АС185	III,IV	235;205	240;200	295;255	
	АС240	III,IV	240;215	235;195	295;245	
ПБ220-1	АС300	I,II	290	360	360	6,45
		III,IV	260;230	280;230	325;285	
	АС400	I,II	290	315	360	
		III,IV	280;220	270;225	340;275	
ПБ35-1	АС95	I,II	325;265	455;370	405;330	4,78
	АС150	I,II	340;315	400	420;400	
ПБ35-3	АС95	III,IV	205;175	330;280	255;220	4,77
	АС150	III,IV	255;215	355;270	320;270	
ПБ35-2	АС95	I,II	255;215	340	320;270	5,37
	АС150	I,II	265;255	265	330;320	
ПБ35-4	АС95	III,IV	145;120	205;170	180;150	4,91
	АС150	III,IV	175;150	200;160	220;190	
П35-1	АС70	I,II	295;235	295	370;295	1,53
		III,IV	180;145	295	225;180	
	АС95	I,II	310;255	295	390;320	
		III,IV	195;165	295	245;205	
	АС120	III,IV	225;190	325	280;240	
	АС150	I,II	330;310	330	410;390	
		III,IV	240;210	330	300;260	

## Окончание таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7
П35-2	АС70	I,II	275;220	275	345;275	1,78
		III,IV	160;125	275	190;155	
	АС95	I,II	290;240	290	360;300	
		АС120	I,II	305;270	305	
	АС150		III,IV	190;165	305	
		I,II	305;290	305	380;360	
	III,IV		210;180	305	260;255	

## Примечание

При определении длины пролетов, длина поддерживающей гирлянды изоляторов принята 0,6 м для напряжения 35 кВ, 1,3 м - для напряжения 110 кВ, и 2,4 м – для напряжения 220 кВ.

## Приложение Д

## Таблица Д1

## Технические характеристики подвесных изоляторов

Тип изолятора	Разрушающая электромеханическая сила, кН	Выдерживаемое напряжение частотой 50 Гц под дождем, кВ	Длина пути утечки, мм	Масса, кг	Номер рисунка
ПФ70-В	75	34	355	5,00	Д1.а
ПС70-Д	70	40	303	3,45	Д1.б
ПС120-А	120	45	325	5,70	Д1.в
ПС120-Б	120	40	330	4,15	Д1.г
ПС160-Б	170	35	390	8,00	Д1.д
ПС160-В	70	45	370	6,33	Д1.е
ПС210-Б	210	42	375	8,50	Д1.ж
ПС400-А	400	55	450	17,00	Д1.з
ПФГ70-Б	70	40	375	4,80	Д1.и
ПСГ70-Д	70	40	395	4,80	Д1.к
ПСГ120-А	120	48	425	6,75	Д1.л
ПС300-К	300	52	440	14,00	Д1.м
ЛП-70/110-В3	90	460	2150	2,50	5.1б
ЛК-70/110-3	100	450	2640	3,70	5.1а
ЛК-70/220	122	850	4960	6,12	5.1а
ЛК-160/220	190	830	4930	8,70	5.1а

Приложение Ж

Таблица Ж1

Технические характеристики гасителей вибрации

Марка гасителя вибрации	Диаметр провода, мм	Размеры, мм				Масса, кг
		d	2R	L	H	
ГПГ-0,8-9,2-350/16	14,1-17,0	9,2	16	350	72	2,39
ГПГ-1,6-11-350/10	9,0-11,0	11	10	350	72	4,23
ГПГ-1,6-11-350/13	11,1-14,0	11	13	350	72	4,25
ГПГ-1,6-11-400/13	11,1-14,0	11	13	400	72	4,28
ГПГ-1,6-11-400/16	14,1-17,0	11	16	400	75	4,30
ГПГ-1,6-11-400/21	17,1-20,0	11	21	400	78	4,32
ГПГ-1,6-11-450/13	11,1-14,0	11	13	450	72	4,31
ГПГ-1,6-11-450/16	14,1-17,0	11	16	450	75	4,33
ГПГ-1,6-11-450/24	20,1-24,0	11	24	450	93	4,51
ГПГ-1,6-11-450/35	32,1-37,0	11	35	450	98	4,57
ГПГ-1,6-11-500/21	17,1-20,0	11	21	500	78	4,38
ГПГ-1,6-11-550/21	17,1-20,0	11	21	550	78	4,41
ГПГ-1,6-13-350/13	11,1-14,0	13	13	350	84	4,39
ГПГ-1,6-13-400/16	14,1-17,0	13	16	400	87	4,45
ГПГ-1,6-13-400/21	17,1-20,0	13	21	400	90	4,47
ГПГ-1,6-13-450/24	20,1-24,0	13	24	450	93	4,67
ГПГ-2,4-11-450/16	14,1-17,0	11	16	450	75	5,93
ГПГ-2,4-11-500/16	14,1-17,0	11	16	500	75	5,96
ГПГ-2,4-11-500/21	17,1-20,0	11	21	500	78	5,98
ГПГ-2,4-11-550/24	20,1-24,0	11	24	550	93	6,17
ГПГ-2,4-11-600/24	20,1-24,0	11	24	600	93	6,20
ГПГ-2,4-13-400/21	17,1-20,0	13	21	400	90	6,07
ГПГ-2,4-13-450/21	17,1-20,0	13	21	450	90	6,11
ГПГ-2,4-13-450/31	28,1-32,0	13	31	450	97	6,33
ГПГ-2,4-13-500/16	14,1-17,0	13	16	500	87	6,14
ГПГ-2,4-13-500/24	20,1-24,0	13	24	500	93	6,32
ГПГ-2,4-13-500/31	28,1-32,0	13	31	500	97	6,38
ГПГ-2,4-13-500/35	32,1-37,0	13	35	500	98	6,38
ГПГ-2,4-13-550/21	17,1-20,0	13	21	550	90	6,20
ГПГ-2,4-13-550/24	20,1-24,0	13	24	550	93	6,36
ГПГ-2,4-13-600/24	20,1-24,0	13	24	600	93	6,41
ГПГ-3,2-13-450/16	14,1-17,0	13	16	450	87	7,69
ГПГ-3,2-13-450/24	20,1-24,0	13	24	450	93	7,87
ГПГ-3,2-13-450/31	28,1-32,0	13	31	450	97	7,93
ГПГ-3,2-13-500/21	17,1-20,0	13	21	500	90	7,76
ГПГ-3,2-13-500/35	32,1-37,0	13	35	500	98	7,98

Приложение И

Таблица И1.

Технические характеристики узлов крепления

Типо-размер	Марка узла крепления	Рис.	Размеры, мм						Разрушающая нагрузка, кН, не менее	Масса, кг
			D	A	d	L	H <sub>1</sub>	H		
КГП-7	КГП-7-1	а	16	17	16	80	32	82	70	0,80
КГП-7	КГП-7-2Б	б	-	-	20	80	39	116	70	1,12
КГП-12	КГП-12-1	а	22	23	20	80	39	104	120	2,00
КГП-16	КГП-16-1	а	25	26	24	100	38	108	160	2,40
КГП-16	КГП-16-2	а	25	26	20	80	39	109	160	2,00
КГП-16	КГП-21-2	а	28	29	24	100	38	113	210	3,00
КГП-21	КГП-30-1	а	36	38	27	100	38	138	300	4,70
КГП-30										

Приложение К

Таблица К1

Технические характеристики поддерживающих зажимов

Типо-размер	Марка зажима	Размеры, мм			Диаметр алюминиевых, медных и сталеалюминиевых проводов, мм	Диаметр стальных канатов, мм	Разрушающая нагрузка, кН, не менее	Масса, кг	Рис.
		L	H	A					
ПГН-1	ПГН-1-5	192	55	17	6,4 – 9,0	8,0 – 9,0	25	0,80	К1.а,г
ПГН-2	ПГН-2-6	192	55	17	9,6 – 12,6	9,1 – 11,0	25	0,81	К1.а,г
ПГН-3	ПГН-3-5	220	66	20	13,5 – 19,6		25	0,95	К1.б,г
ПГН-5	ПГН-5-3	300	160	-	21,6 – 33,2		60	6,00	К1.в
ПГН-6	ПГН-6-5	300	154	-	37,5		100	6,93	К1.в
ПГН-8	ПГН-8-8	302	177	-	46,5		120	7,30	К1.в
ПГ-1	ПГ-1-11	240	112	17	-	11,0 – 13,0	60	3,70	К1.г
ПГ-2*	ПГ-2-10	240	97	42	-	8,0 – 13,0	30	1,94	К1.д
ПГ-3	ПГ-3-12	222	102	19,2	13,5 – 19,6	-	30	1,33	К1.е

\* - крепятся на тросостойках опор, концы которых выполнены в виде вилки из двух уголков.

Приложение Л - Технические характеристики сцепной арматуры

Таблица Л1

Серьги

Типо-размер	Марка серьги	Рис.	Размеры, мм				Разрушающая нагрузка, кН, не менее	Масса, кг
			D	d	A	в		
CP-7	CP-7-16	Л1,а	17	16	65	16	70	0,30
СРС-7	СРС-7-	Л1,б	23	16	65	16	70	0,32
CP-12	16	Л1,а	23	16	65	22	120	0,41
CP-16	CP-12-16	Л1,а	26	20	70	25	160	0,55
CP-21	CP-16-20	Л1,а	29	20	80	28	210	0,65
CP-30	CP-21-20	Л1,а	38	24	100	36	300	1,35
CP-40	CP-30-24 CP-40-28	Л1,а	42	28	120	40	400	1,50

Таблица Л2

Ушки однолапчатые

Типо-размер	Марка ушка	Рис.	Размеры, мм				Разрушающая нагрузка, кН, не менее	Масса, кг
			D	в	D <sub>1</sub>	H		
У1-7	У1-7-16	Л2,б	17	16	19,2	104	70	0,760
У1-12	У1-12-16	Л2,а	23	22	19,2	105	120	1,515
У1-16	У1-16-20	Л2,а	26	25	23	113	160	2,019
У1-21	У1-21-20	Л2,а	29	28	23	139	210	2,668
У1-30	У1-30-24	Л2,а	38	36	27,5	150	300	5,040
У1-40	У1-40-28	Л2,а	42	40	32	190	400	8,130
У1К-7	У1К-7- 16	Л2,в	17	16	19,2	78	70	0,650

Таблица Л3

Ушки двухлапчатые

Типо-размер	Марка ушка	Рис.	Размеры, мм				Разрушающая нагрузка, кН, не менее	Масса, кг
			d	B	D <sub>1</sub>	H		
У2-7	У2-7-16	Л3,б	16	17	19,2	106	70	0,995
У2-12	У2-12-16	Л3,а	22	23	19,2	108	120	1,920
У2-16	У2-16-20	Л3,а	25	26	23	113	160	2,685
У2-21	У2-21-20	Л3,а	28	29	23	139	210	3,561
У2-30	У2-30-24	Л3,а	36	38	27,5	150	300	6,430
У2К-7	У2К-7- 16	Л3,в	16	17	19,2	78	70	0,775

Приложение М

Таблица М1

Характеристики грунтов

Наименование	Виды грунтов	Характеристики грунтов			
		Нормативные значения			Модуль деформации E, МПа
		$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\varphi^H$ , град	$C^H$ , кПа	
ПЕСЧАНЫЕ ГРУНТЫ	Пески гравелистые и крупные	20,0	43	2,0	50
		20,0	40	1,0	40
		20,0	38	-	30
	Пески средней крупности	19,0	40	3,0	50
		19,0	38	2,0	40
		18,5	35	1,0	30
	Пески мелкие	18,5	38	6,0	48
		18,5	36	4,0	38
		18,0	32	2,0	28
		18,0	28	-	18
	Пески пылеватые	18,0	36	8,0	39
		18,0	34	6,0	28
		17,5	30	4,0	18
		17,5	26	2,0	11

Таблица М2

Характеристики грунтов

Наименование грунта	Консистенция	Характеристики грунтов			
		Нормативные значения			Модуль деформации E, МПа
		$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\varphi^H$ , град	$C^H$ , кПа	
СУПЕСИ	$0 \leq J_L \leq 0,25$	20,0	30	21	32
		19,5	29	17	24
		19	27	15	16
		18,5	24	13	10
	$0,25 \leq J_L \leq 0,75$	19	28	19	32
		19	26	15	24
		28,5	24	13	16
		18	21	11	10
		17,5	18	9	7

## Окончание таблицы М2

СУГЛИ Н-КИ	Полутвердые $0 \leq J_L \leq 0,25$	20,0	26	47	34	
		19,5	25	37	27	
		19	24	31	22	
		18	23	25	17	
		18	22	22	14	
		18	20	19	11	
СУГЛИНКИ	Тугопластичные $0,25 \leq J_L \leq 0,5$	19	24	39	32	
		18,5	23	34	25	
		18	22	28	19	
		18	21	23	14	
		18	19	18	11	
		18	17	15	8	
	Мягкие пластичные $0,5 \leq J_L \leq 0,75$	19	19	25	17	
		18,5	18	20	12	
		18	16	16	8	
		18	14	14	6	
		17,5	12	12	5	
	ГЛИНЫ	Полутвердые $0 \leq J_L \leq 0,25$	18	21	81	280
			18	20	68	240
			18	19	54	210
18			18	47	180	
17,5			16	41	150	
17,5			14	36	120	
Тугопластичные $0,25 \leq J_L \leq 0,5$		17,5	18	57	210	
		18	17	50	180	
		17	16	43	150	
		17	14	37	120	
		16,5	11	32	90	
Мягкие пластичные $0,5 \leq J_L \leq 0,75$		17,5	15	45	180	
		17,5	14	41	150	
		17	12	36	120	
		17	10	33	90	
		16,5	7	29	70	

Приложение Н – Варианты заданий для курсового проекта

Таблица Н1

№ вар	U <sub>НОМ</sub> , кВ	Сечение троса, ТК	Материал опоры	Число цепей	Местность	Сечение провода АС, мм					
						а	б	в	г	д	е
1	35	35	ж/б	1	насел.	-	95	95	-	150	150
2	35	35	мет.	1	насел.	70	95	95	120	150	150
3	35	35	ж/б	2	ненас.	-	95	95	-	150	150
4	35	35	мет.	2	ненас.	70	95	-	120	150	150
5	110	50	ж/б	1	насел.	70	95	120	150	185	240
6	110	50	мет.	1	насел.	70	95	120	150	185	240
7	110	50	ж/б	2	ненас.	70	95	120	150	185	240
8	110	50	мет.	2	ненас.	70	95	120	150	185	240
9	220	70	ж/б	1	насел.	-	-	300	300	400	400
10	220	70	мет.	1	ненас.	-	-	300	300	400	400
11	220	70	мет.	2	ненас.	-	-	300	300	400	400

Таблица Н2

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Район по ветру	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I
Район по гололеду	IV	III	II	I	IV	III	II	I	IV	III
$t_{max}, ^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
$t_{min}, ^\circ\text{C}$	-40	-30	-25	-20	-10	-30	-40	-40	-10	-20
$t_{cp}, ^\circ\text{C}$	-5	0	0	5	5	-5	-5	-5	0	5

Примечание

Вариант задания состоит из цифры (первый столбец таблицы Н1), буквы (сечение провода по таблице Н2) и цифры (климатические условия по таблице Н2). В качестве примера на таблицах выделен вариант б,в,3.

## Литература:

1. А.А. Герасименко, В.Т. Федин «Передача и распределение электрической энергии». 2008г.
2. Костин В.Н., Распопов Е.В., Родченко Е.А. «Передача и распределение электроэнергии». Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003.
3. А.А Глазунов «Основы механической части воздушной линии электропередач».
4. М.А. Короткевич «Проектирование линии электропередач. Механическая часть» 2010г.
5. А.П. Вихарев «Проектирование механической части воздушных ЛЭП» 2009г.
6. К.П. Крюков «Конструкция и механический расчёт линий электропередачи» 1979г.
7. Е.Ф. Щербаков «Распределение электрической энергии на предприятиях» 2006г.
8. Электротехнический справочник. Т.2. Электротехнические изделия и устройства. М.: Издательство МЭИ, 1998.
10. ГОСТ 24291-90. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1984.
11. Правила устройства электроустановок. — 6-е изд. М.: ЗАО «Энергосервис», 2000.
12. Электрические системы. Электрические сети: Учеб. для электроэнергетических специальностей вузов / Под ред. Веникова В.А., Строева В.А. — 2-е изд. М.: Высшая школа, 1998.
13. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Проектирование электрических сетей и систем. Минск: Вышэйшая школа, 1978.
14. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство и распределение электрической энергии. — 8-е изд. М.: Издательство МЭИ, 2002.

## Содержание

1. Провода и грозозащитные тросы воздушных линий.....	3
2. Опоры воздушных линий электропередачи.....	5
3. Расчёт проводов и тросов на механическую прочность.....	11
4. Расчёт проводов и тросов в аварийных режимах.....	29
5. Изоляторы и линейная арматура.....	36
6. Расстановка опор по профилю трассы.....	47
7. Расчёт переходов через инженерные сооружения.....	54
8. Расчёт монтажных стрел провеса проводов и тросов.....	58
9. Рекомендации для выполнения курсового проекта.....	64
10. Приложение.....	68
11. Литература.....	83

Торубаева У.С., Докомбаев З.В.

**Методическое руководство  
по выполнению курсового проекта по дисциплине:  
«Передача и распределение электрической энергии»**

Тех. редактор: Жакыпова Ч.А.

---

Отпечатано в полиграфическом комплексе  
ИГУ им. К.Тыныстанова  
Заказ 477. Тираж 30.  
Тел.: (03922) 52696.



