



ОПОРЫ ЛЭП

Выполнили студенты ПГС 2:

Штоль А.С.

Мялицына Е.А.

Виды опор ЛЭП

- **Железобетонные** — выполняют из бетона, армированного металлом. Для линий 35—110 кВ и выше обычно применяют опоры из центрифугированного бетона. Достоинством железобетонных опор является их стойкость в отношении коррозии и воздействия химических реагентов, находящихся в воздухе. Основным недостатком является значительный вес, относительно высокий процент возникновения дефектов при транспортировке (сколы, трещины) и выкрашивание бетона в приповерхностном слое грунта за счет воздействия влаги и циклического изменения температуры (замерзание-оттаивание).
- **Металлические** — выполняют из стали специальных марок. Отдельные элементы соединяют сваркой или болтами. Как правило, для предотвращения окисления и коррозии поверхность металлических опор оцинковывают (в том числе методом газотермического напыления) или периодически окрашивают специальными красками.
- **Деревянные** — выполняют из круглых брёвен. Наиболее распространены сосновые опоры и несколько меньше опоры из лиственницы. Деревянные опоры применяют для линий напряжением до 220/380 В включительно в СНГ и до 345 В в США, однако кое-где до сих пор можно увидеть применение деревянных опор в линиях 6, 10, 35 и 110 кВ. Основные достоинства этих опор — малая стоимость (при наличии местной древесины) и простота изготовления. Основным недостатком — гниение древесины, особенно интенсивное в месте соприкосновения опоры с почвой. Пропитка древесины специальным антисептиками (в странах СНГ повсеместно обычно применяют креозот) увеличивает срок её службы с 4—6 до 15—25 лет.
- **Композитные** — сравнительно новый тип опор. Получают распространение в США, Канаде, Норвегии, Китае. В России введено в экспериментальную эксплуатацию несколько участков ЛЭП различных классов напряжений с композитными опорами. Преимущества композитных опор обусловлены их диэлектрическими свойствами, хорошей устойчивостью к сложным климатическим условиям (ветер, гололед, циклы замораживание-оттаивание), а также малой массой, позволяющей вести их монтаж в труднодоступных местах.

Классификация ЛЭП

По назначению

- Промежуточные опоры удерживают вес проводов и тросов и не рассчитаны на горизонтальные нагрузки. Используются внутри прямых участков ВЛ.
- Анкерные опоры компенсируют разность тяжения проводов смежных пролетов в местах установки переходных опор, местах изменения сечений провода. Используются на прямых участках ВЛ.
- Угловые опоры компенсируют боковые суммарные нагрузки от тяжения проводов при повороте трассы. Устанавливаются в местах поворота трассы ВЛ. Для угла поворота до 30° применяют промежуточные угловые опоры, для угла более 30° - анкерно-угловые опоры с соответствующим креплением проводов.
- Концевые опоры компенсируют одностороннее тяжение проводов и тросов в конце линии. Устанавливаются на концах трассы ВЛ.
- Переходные опоры используют для перехода ВЛ через естественные преграды и инженерные сооружения.
- Транспозиционные опоры используют для смены расположения проводов на опорах ВЛ.
- Ответвительные опоры используют для организации ответвлений от ВЛ.
- Перекрестные опоры используют для реализации пересечения двух ВЛ.

Классификация ЛЭП

По конструкции

- Опоры ВЛ с оттяжками
- Свободностоящие опоры
- Повышенные и пониженные опоры

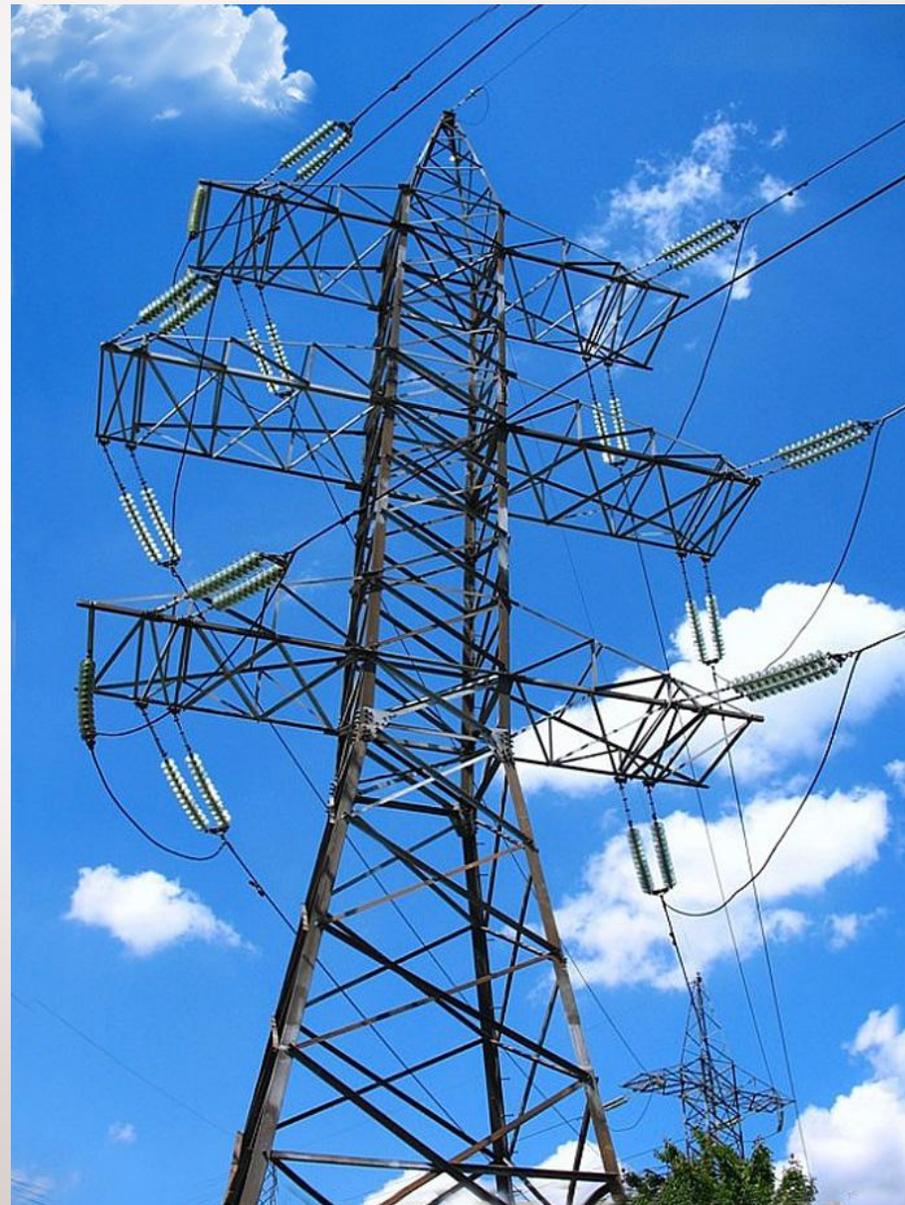
По количеству цепей

- Одноцепные
- Двухцепные
- Многоцепные

Металлические решетчатые опоры

Металлические решетчатые опоры ЛЭП представляют собой пространственные решетчатые конструкции из стального проката и используются для строительства ВЛ напряжением 35-1150 кВ. Соединения таких элементов могут быть двух типов: болтовые или сварные. Тип соединения во многом определяется условиями последующей эксплуатации, и влияет на способ транспортировки на место строительства линии ВЛ. Так, сварные конструкции считаются более надежными и простыми в установке, но при этом, из-за габаритов, существенно затруднена их доставка на объект. Унифицированные опоры ЛЭП на болтовых соединениях – удобны для транспортировки и для горячего оцинкования, но более трудоемки в монтаже.

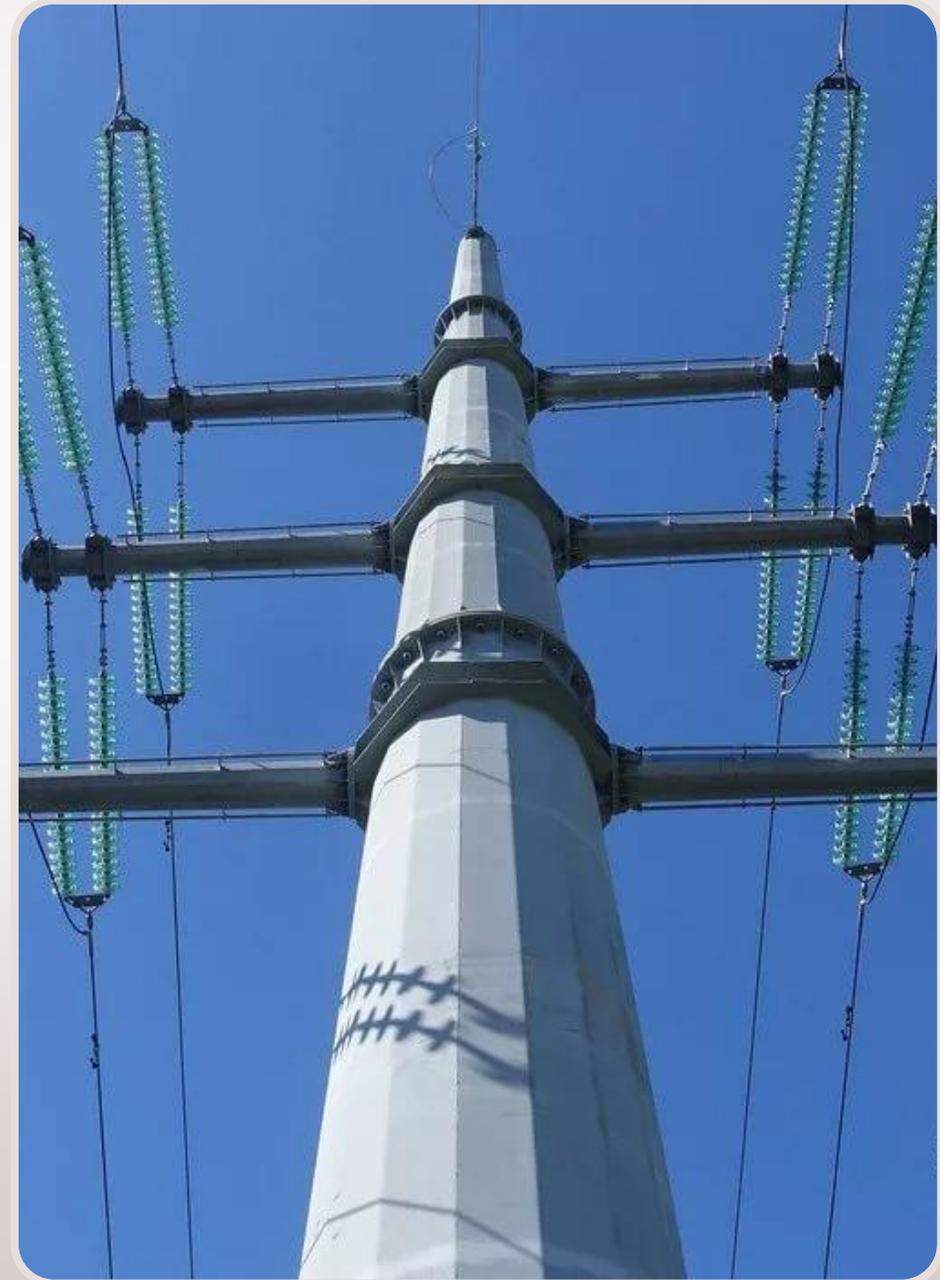
Решетчатые стальные опоры ВЛ производятся из низколегированного стального проката марки 09Г2С или углеродистой стали марки Ст3 в соответствии с требованиями ГОСТ 27772-88. Все поставляемые опоры ЛЭП, обрабатываются от коррозии горячей оцинковкой или покрываются специальным цинконаполненным композитом.



Многогранные опоры ЛЭП

Многогранные опоры ЛЭП устанавливаются при прокладке линий электропередач напряжением 10-500 кВ. Могут эксплуатироваться в I-V гололедно-ветровых районах, а также в населенных пунктах и за их пределами при условии, что температура воздуха в этих районах опускается до 65 градусов. Многогранные опоры ВЛ полые внутри, состоят из одной или нескольких стоек многогранного сечения в виде усеченных пирамид. Элементы стоек крепятся друг с другом при помощи фланцевого или телескопического соединения.

Многогранные опоры проектируются и изготавливаются с различными траверсами. Конструкции траверс могут быть многогранными, решётчатыми или изолирующими. Опоры и траверсы производятся из металлопроката марки С345 в соответствии с ГОСТ 27772-88. Обработка от коррозии осуществляется путем горячего оцинкования или покрытия цинкосодержащим композитом.



Металлические опоры из гнутого профиля

Металлические опоры ВЛ из гнутого профиля применяются при прокладке линий с напряжением 6/10/35 кВ. Монтаж опор ЛЭП такого типа разрешается в I-VII гололедно-ветровых районах с давлением ветра до 1000 Па и толщиной обледенения до 25мм.

Изготовление опор ЛЭП из гнутого профиля для районов с расчетной температурой до -40°C осуществляется из углеродистой стали С245 или низколегированного металлопроката марки С345 для районов до -65°C .

Все выпускаемые опоры из гнутого профиля одностоечные. Все конструкции стальных стоек, траверс, подкосов, подставок выполнены цельносварными для уменьшения сборочных единиц при монтаже. Крепление опор к трубным фундаментам производится с помощью фланцевого или цангового соединения.

Защита от коррозии проводится горячим оцинкованием или покрытием цинкосодержащим композитом.



Типы ЛЭП

В зависимости от способа подвески проводов опоры делятся на две основные группы:

- опоры промежуточные, на которых провода закрепляются в поддерживающих зажимах;
- опоры анкерного типа, служащие для тяжения проводов; на этих опорах провода закрепляются в натяжных зажимах.



Эти виды опор делятся на типы, имеющие специальное назначение:

Промежуточные прямые опоры устанавливаются на прямых участках линии. На промежуточных опорах с подвесными изоляторами провода закрепляются в поддерживающих гирляндах, висящих вертикально; на опорах со штыревыми изоляторами закрепление проводов производится проволоочной вязкой. В обоих случаях промежуточные опоры воспринимают горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода и на опору и вертикальные — от веса проводов, изоляторов и собственного веса опоры.

Промежуточные угловые опоры устанавливаются на углах поворота линии с подвеской проводов в поддерживающих гирляндах. Помимо нагрузок, действующих на промежуточные прямые опоры, промежуточные и анкерно-угловые опоры воспринимают также нагрузки от поперечных составляющих тяжения проводов и тросов. При углах поворота линии электропередачи более 20° вес промежуточных угловых опор значительно возрастает. При больших углах поворота устанавливаются анкерно угловые опоры.

Расчет опоры ЛЭП

Расчет опоры ЛЭП – достаточно трудоемкий процесс, связанный с вычислением большого количества параметров. Их определяют с учетом сил, действующих на столб, которые называют нагрузками. Вычисления производятся по тому же принципу, что и расчет нагрузки на опору освещения.

В основе расчета – метод предельных состояний, при которых конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям.

Возникновение предельного состояния возможно при изменении разных параметров опоры:

- Механических свойств металла, из которого изготовлена опора.
- Физических свойств грунта, выступающего основанием для столба.
- Условий работы конструкции.
- Характера и величины нагрузок.

Расчет опоры ВЛ может выполняться с разными целями, к примеру, для проектирования фундамента, определения количества столбов, вычисления критических пролетов, прочности и жесткости провода. В зависимости от конкретных задач для расчета можно использовать следующие документы:

- СТО 56947007-29.120.95-049-2010. Стандарт по проектированию поверхностных фундаментов для опор ВЛ и ПС.
- СП 20.13330.2016. Свод правил с общими правилами и требованиями по назначению нагрузок, воздействий и их сочетаний.
- СТО 70238424.29.240.20.003-2011. Стандарт организации с нормами и требованиями к созданию воздушных линий напряжением 35-750 кВ.

Пособие к СНиП П-23-81* по проектированию стальных конструкций опор ЛЭП.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ-7), издание седьмое

Чтобы выполнить расчеты ЛЭП, необходимо иметь следующие исходные данные:

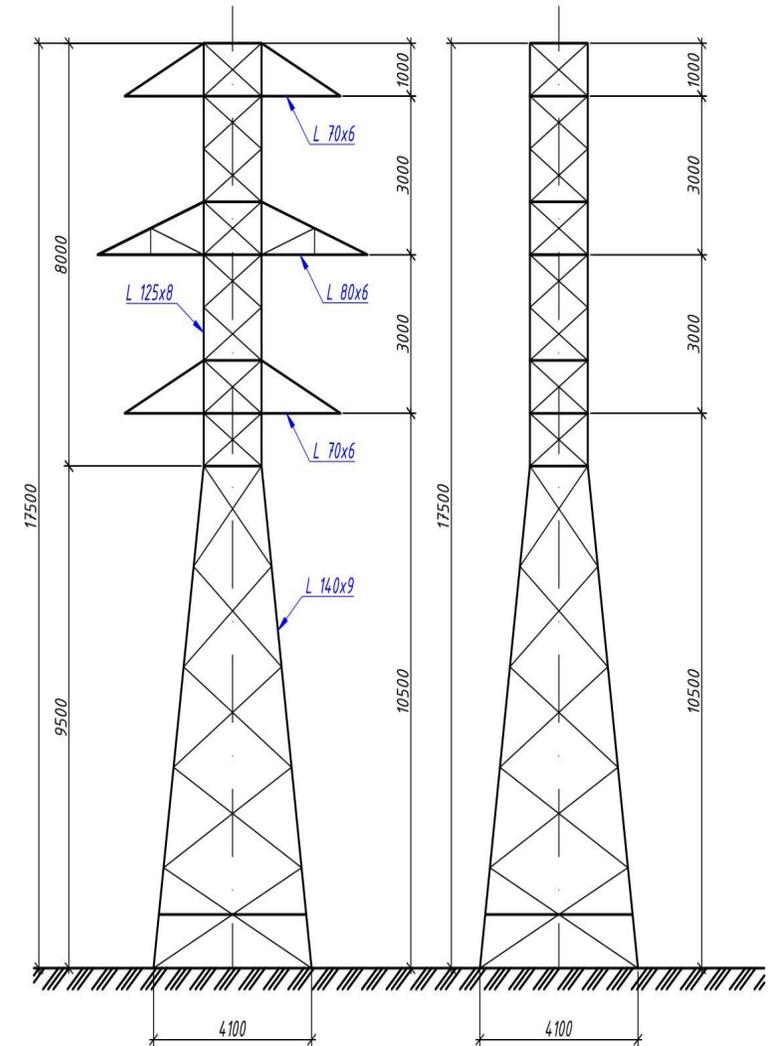
- Марка и модель исполнения опоры с чертежами.
- Класс напряжения линии электропередач.
- Характеристики существующего провода.
- Климатические условия региона (район по гололеду и ветровой нагрузке, высшая, низшая и среднегодовая температуры, а еще температура гололедообразования).
- Место расположения точки подвеса кабеля.

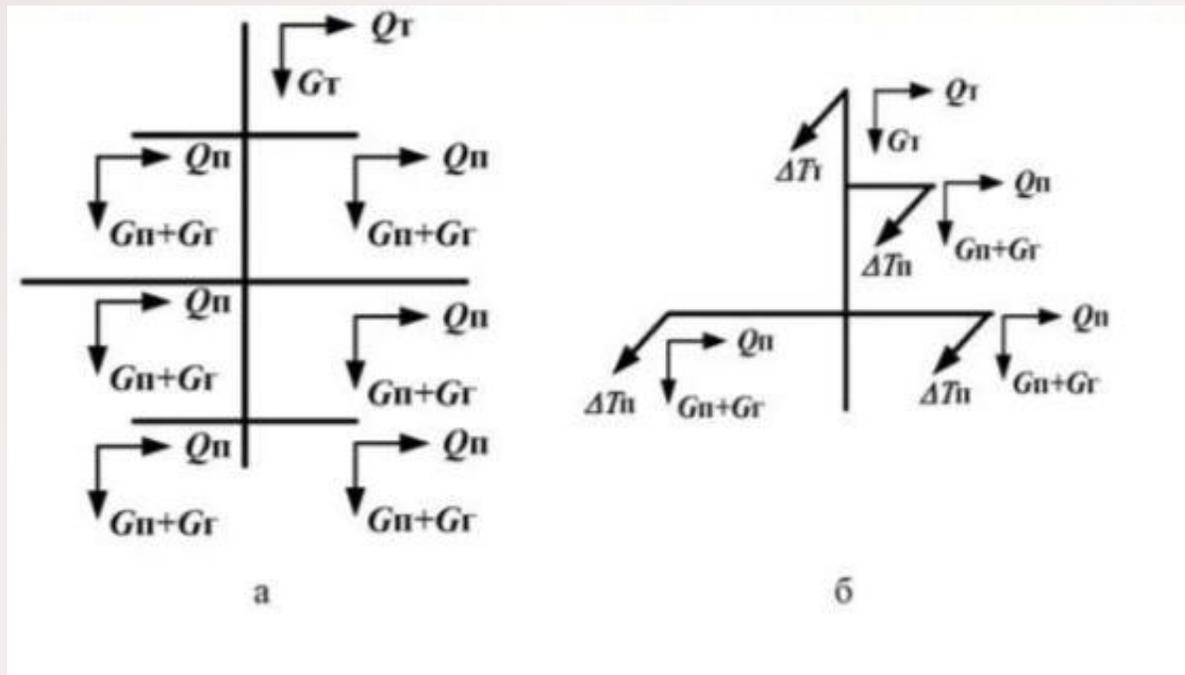
Сбор нагрузок на опору ЛЭП

Расчет параметров ЛЭП происходит для разных режимов работы опоры:

- нормального,
- аварийного,
- монтажного. В каждом случае на столб ЛЭП, как и на опору освещения, действует комплекс разных нагрузок. В нормальном режиме это:
- $G_{оп}$ – собственный вес опоры.
- $G_{г}$ – вес изоляторов.
- $G_{п}$ – вес проводов.
- $G_{т}$ – вес тросов без гололеда.
- ΔT – нагрузка от натяжений проводов.
- $\Delta T_{т}$ – нагрузка от тросов.

Опора УЗ5-2 для III - IV районов по гололеду





На рисунке схема нагрузок для промежуточной двухцепной (а) и анкерной (б) опор.

Это список постоянных нагрузок (в случае с опорой освещения в перечень войдет и вес светильников). Еще на опору действуют кратковременные силы: давления ветра Q_n , троса Q_t и опоры, а еще вес от гололеда на проводах и тросах. Ветровая нагрузка на сам столб, провода и тросы, а также нагрузка от тяжения проводов и тросов, давление ледяной корки – это горизонтальные силы. Поскольку опора ЛЭП большую часть времени работает в нормальном режиме, перечисленные нагрузки называют основным сочетанием.

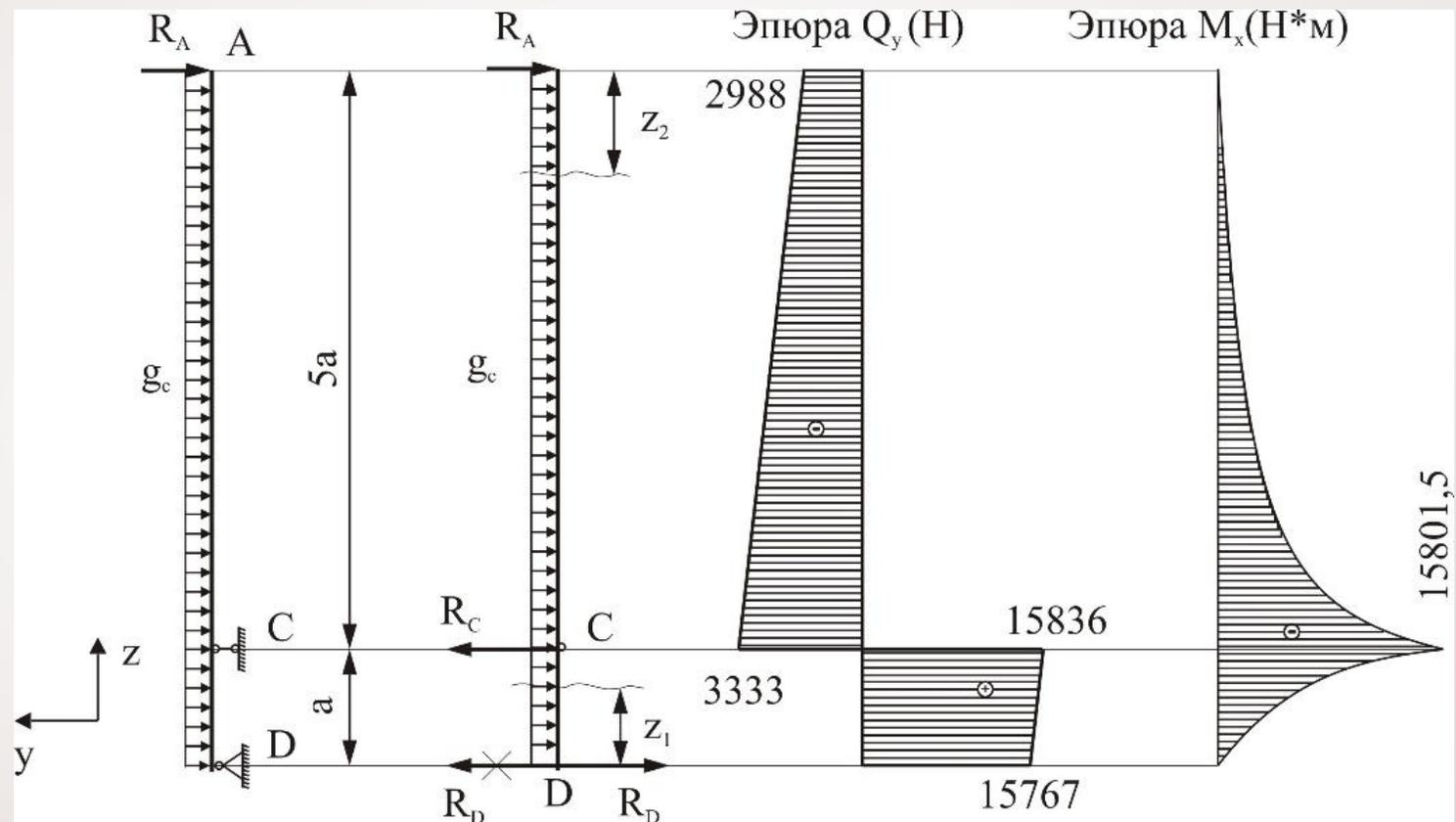
Следующий режим – аварийный, т. е. при обрыве проводов и тросов. В таком режиме столб работает сравнительно недолго, поэтому при расчете нагрузки и натяжения проводов умножаются на коэффициенты. На рисунке приведены схемы работы в аварийном режиме промежуточной одноцепной и анкерной опор.

Порядок расчета опоры ЛЭП

На примере расчета опоры ЛЭП можно проследить последовательность вычислений:

1. Определение нормативных постоянных и кратковременных нагрузок.
2. Вычисление расчетных нагрузок путем умножения нормативных значений на коэффициент перегрузки в нормальных и аварийных режимах.
3. Суммирование отдельно вертикальных и горизонтальных нагрузок.
4. Расчет изгибающих моментов от внешних нагрузок, действующих вдоль и перпендикулярно траверсе, а также расчетного крутящего момента от натяжения проводов (силы и моменты изображают на эпюрах, как на рисунке ниже).
5. Сравнение полученных значений с допустимыми – вывод о возможности подвеса проектируемого кабеля или провода.

Расчет опор ЛЭП с учетом правил и требования нормативных документов позволяет гарантировать безопасность функционирования и снижение риска чрезвычайных ситуаций.



Подбор и проверка сечений

Для воздушных линий электропередачи (ВЛ) применяются многопроволочные алюминиевые и сталеалюминиевые провода, а также провода из алюминиевых сплавов. Для ВЛ 35 кВ и выше применяют, как правило, сталеалюминиевые провода. Применение медных или других проводов должно обосновываться технико-экономическими расчетами.

Для ВЛ напряжением до 35 кВ в настоящее время получают все большее распространение самонесущие изолированные провода СИП. Для СИП используются сталеалюминиевый провод или провод из алюминиевого сплава высокой прочности. В качестве изоляции используется сшитый полиэтилен СПЭ.

Выбор сечений проводов ВЛ напряжением 750 кВ и выше производится на основе технико-экономических расчетов.

При проектировании ВЛ напряжением до 500 кВ включительно выбор сечения провода проводится по нормированным обобщенным показателям. В качестве таких показателей используются нормированные значения экономической плотности тока j_n

Экономическая плотность тока соответствует минимальным затратам при передаче по ВЛ заданной нагрузки.

Сечение провода F проектируемой ВЛ составляет

$$F = I_p / j_n, (1)$$

где I_p – расчетный ток линии на пятый год ее эксплуатации.

Для системообразующих линий основной сети I_p определяется по расчетным длительным потокам мощности. Для линий распределительной сети I_p определяется расчетом потокораспределения при прохождении максимума нагрузки энергосистемы.

Полученное по выражению (1) сечение округляется до ближайшего стандартного сечения. Шкала стандартных сечений проводов ВЛ составляет следующий ряд:

6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 330, 400, 500, ... мм².

Метод экономической плотности тока достаточно прост, поскольку для выбора сечения используется простейшая формула (4.1). В этом привлекательность метода. Однако этот метод не учитывает ряд факторов, влияющих на стоимость ВЛ. Это, в частности, материал опор, напряжение и количество цепей ВЛ, ее географическое расположение.

Проводники	Плотность тока j , А/мм ² , н при T_{max} , ч/год		
	1000...3000	3000...5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,0	1,7	1,4
алюминиевые	1,0	0,9	0,8
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией с жилами:			
медными	2,4	2,0	1,6
алюминиевыми	1,3	1,1	1,0
Кабели с резиновой и пластмассо- вой изоляцией с жилами:			
медными	2,8	2,5	2,2
алюминиевыми	1,5	1,4	1,3

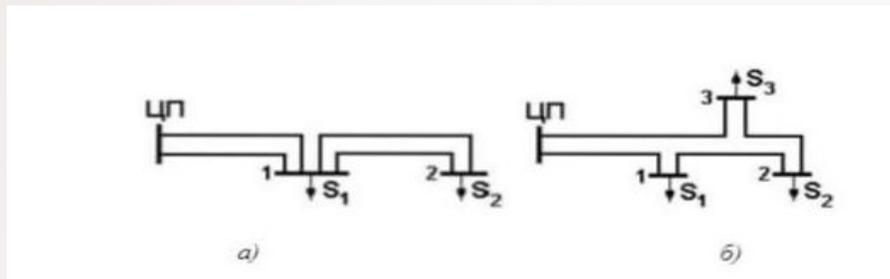
Выбранные сечения проводов ВЛ должны удовлетворять ряду технических требований, при которых обеспечивается нормальная эксплуатация линии. Окончательный выбор сечения можно сделать только после проверки выполнения этих технических требований.

Проверка по механической прочности. Провода ВЛ подвергаются внешним механическим воздействиям. Это, главным образом, ветровые и гололедные нагрузки.

Проверка по условиям короны. Явление общей короны возникает при высокой напряженности электрического поля на поверхности провода и сопровождается характерным потрескиванием и видимым свечением.

Проверка по допустимому нагреву. Все проводники должны удовлетворять требованиям допустимого нагрева в длительных режимах работы. Под этими режимами понимаются, как правило, послеаварийные и ремонтные режимы работы электрической сети.

Рассмотрим два типичных случая проверки сечений ВЛ по условиям допустимого нагрева. На рисунке приведены две схемы электрических сетей: двойная радиальная (а) и замкнутая кольцевая (б). Сечения проводов следует проверить по допустимому нагреву.



В первой схеме (рис.,а) при отключении одной линии головного участка ЦП-1 или одной линии участка 1-2 ток оставшейся в работе линии увеличивается в два раза. Для каждого из этих случаев проверяется условие

$$I_{\max} = 2I_p \leq I_d,$$

где I_p – расчетный ток линии.

Условия проверки сечений по допустимому нагреву можно записать через заданные мощности нагрузок. Для участка ЦП-1 схемы рис.,а

$$I_{\max} = (S_1 + S_2) / \sqrt{3} U_{\text{ном}} \leq I_d,$$

для участка 12

$$I_{\max} = S_2 / \sqrt{3} U_{\text{ном}} \leq I_d.$$

В кольцевой схеме рис.,б наиболее тяжелыми режимами будут отключения головных участков сети. По этим режимам и выполняется проверка сечений по допустимому нагреву. При отключении головного участка ЦП-1 проверяются условия

$$I_{\max \text{ ЦП-3}} = (S_1 + S_2 + S_3) / \sqrt{3} U_{\text{ном}} \leq I_d, \quad I_{\max \text{ 3-2}} = (S_1 + S_2) / \sqrt{3} U_{\text{ном}} \leq I_d,$$

$$I_{\max \text{ 2-1}} = S_1 / \sqrt{3} U_{\text{ном}} \leq I_d.$$

При отключении головного участка ЦП-3 проверяются условия
 $I_{\max \text{ ЦП-1}} = (S_1 + S_2 + S_3) / 3 U_{\text{ном}} \leq I_d$, $I_{\max \text{ 1-2}} = (S_2 + S_3) / 3 U_{\text{ном}} \leq I_d$,
 $I_{\max \text{ 2-3}} = S_3 / 3 U_{\text{ном}} \leq I_d$.

Если для какого-то участка сети условие проверки по допустимому нагреву не выполняется, сечение на этом участке следует увеличить до значения, при котором это условие будет выполнено.

Проверка по допустимой потере напряжения. Для распределительных сетей напряжением до 20 кВ рассчитывается потеря напряжения U_{\max} от центра питания до наиболее электрически удаленного потребителя.

Другие технические требования. Для ВЛ 110 и 220 кВ, сооружаемых на территории крупных городов, рекомендуется применять сечения проводов не менее 240 и 400 мм²

Сечения проводов на ответвлениях (длиной до 2 км) от основной ВЛ, сооружаемых одновременно с основной ВЛ, принимаются такими же, как на основной ВЛ.

При невыполнении любого из технических требований, сечения проводов, выбранные по нормированной экономической плотности тока, увеличиваются до значений, удовлетворяющих этим требованиям.



Спасибо за внимание!