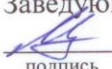


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 А.Е. Митяев
подпись
« 28 » 06 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.03 Прикладная механика

Расчет напряженно-деформированного состояния растяжек
антенно-мачтовой конструкции

Руководитель

 28.06.17

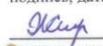
подпись, дата

ДОЦЕНТ, К.Т.Н.

должность, ученая степень

А.Е. Митяев

Выпускник


подпись, дата

Е.А. Жгир

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.Е. Митяев
подпись
« ____ » _____ 2017г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.03 Прикладная механика

**Расчет напряженно-деформированного состояния растяжек
антенно-мачтовой конструкции**

Пояснительная записка

Руководитель

подпись, дата

ДОЦЕНТ, К.Т.Н.
должность, ученая степень

А.Е. Митяев

Выпускник

подпись, дата

Е.А. Жгир

Красноярск 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Общие сведения об антенно-мачтовых конструкциях.....	4
1.1 Особенности конструкции	4
1.2 Мачты	4
1.3 Типы антенно-мачтовых сооружений.....	5
1.4 Эксплуатация.....	11
1.5 Элементы антенно-мачтовых сооружений.....	12
1.6 Стальной канат	16
1.7 Классификация стальных канатов.....	16
1.8 Измерения каната.....	19
1.9 Характеристики.....	21
1.10 Методы испытаний	25
2 Методика расчета.....	29
2.1 Расчет монометаллических проводов и грозозащитных тросов.....	29
2.2 Определение усилий в стержневых конструкциях опор	30
2.3 Расчет растяжек на стальных опорах.....	43
2.4 Расчет сталеалюминиевых канатов.....	48
3 Расчет растяжек антенно-мачтовой конструкции	54
3.1 Примеры расчетов стальных канатов	54
3.2 Пример расчета растяжек антенно-мачтовой конструкции	60
3.2.1 Нормальный режим. Ветер без гололеда, направлен перпендикулярно линии.....	60
3.2.2 Нормальный режим. Ветер без гололеда направлен под углом 45° к оси линии	62

					БР - 15.03.03 ПЗ					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	Расчет напряженно-деформированного состояния растяжек антенно-			<i>Лист</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Пров.</i>	<i>Н.контр.</i>	<i>Утв.</i>	<i>Изм.</i>				<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	<i>Лист</i>
		Жгур Е.А.			расстяжек антенно-				2	67
		Митяев			СФУ ПИ МТ13-					
		Колотов			СФУ ПИ МТ13-					

3.2.3. Нормальный режим. Гололед. Ветер направлен перпендикулярно оси линии.....	64
Заключение	66
Список используемой литературы	67

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		3

ВВЕДЕНИЕ

Антенно-мачтовые сооружения могут быть изготовлены из угловой или из круглой прокатной стали. Назначение и предполагаемая нагрузка на антенно-мачтовых сооружениях определяют выбор материала для их производства. Разные конструктивные элементы могут быть изготовлены из разного металла, однако их химические и механические характеристики не должны сильно различаться.

Высотные сооружения для размещения оборудования можно разделить на две большие группы: башни и мачты. Башни, как правило, предоставляют максимальную нагрузочную способность и обладают максимальной ветровой устойчивостью. Мачты, в свою очередь, обычно более быстро возводимы и требуют меньших вложений. Причем высота обоих типов сооружений может достигать 100 метров и более, чего вполне достаточно для нужд сотовой связи.

Мачта представляет собой четырех или трехгранное сооружение, грани которого идут параллельно от земли к вершине. Устойчивость сооружению придают специальные тросы, расходящиеся от мачты в четырех или трех направлениях (по числу граней) и закрепляемых на земле с помощью бетонных блоков или фундамента. Мачта опирается своим основанием на бетонный блок или залитый фундамент. Между гранями мачты места хватает лишь только на лестницу, и в ней нет площадок для обслуживания. Монтаж мачты, обычно, осуществляется на земле, в лежачем положении. После монтажа основной конструкции мачта поднимается в вертикальное положение и закрепляется одним или двумя ярусами растяжек. Высота мачты может достигать 100 метров и более, но для сотовой связи обычно выбирают высоту 70-90 метров.

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

1 Общие сведения об антенно-мачтовых конструкциях

1.1 Особенности конструкции

Простота в осуществлении сварных работ и эксплуатации;
меньший, чем у конструкции из углового профиля, коэффициент лобового сопротивления, что позволяет значительно снизить нагрузки от воздействия ветра;

благодаря тому, что секции АМС идут готовыми уже с завода, удается сократить материальные и временные затраты на монтаж конструкции;

высокая коррозионная стойкость, что позволяет уменьшить площадь покрытия специальными антикоррозийными средствами.

Преимущества конструкции из угловой стали:

по сравнению с антенно-мачтовыми сооружениями из прокатной стали намного выгоднее в экономическом плане, как при изготовлении, так и при транспортировке;

длительный срок эксплуатации;

устойчивость к воздействию атмосферных факторов.

Антенно-мачтовые сооружения представляют собой конструкцию высотой до 350 метров, состоящую из нескольких секций (ярусов-оттяжек) высотой 1-11 метров. Нижние секции внешне имеют вид усеченной пирамиды, верхние - треугольника.

Сооружения антенн и мачт состоят из нескольких обязательных элементов:

Фундамент;

устройство приема-передачи;

несущая конструкция;

лестницы и площадки обслуживания;

световое ограждение;

молниеприемники;

Параметры эксплуатации влияют на выбор вида конструкции антенно-мачтового сооружения:

телескопические мачты высотой 2-25 м из вставленных друг в друга труб и соединенные болтами и шайбами

составные мачты из труб, соединенных втулками, со стаканом-подъемником и специальной системой растяжек

ферменные мачты, состоящие из секций с треугольным сечением. Для обеспечения устойчивости ферменные мачты бывают с растяжками или пригруженными опорами, башнями.

1.2 Мачты

Это стержневые конструкции, установленные в вертикальном положении на фундамент и удерживаемые наклонно расположенными

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

оттяжками (стальными канатами, закрепленными на нескольких ярусах). Мачты используются для монтажа передающих устройств, в том числе различных антенн и рефлекторов.

Применение мачт:

- размещение ретрансляторов радиосвязи;
- организация спутникового/эфирного телевидения;
- обеспечение работы беспроводных сетей (wi-fi);
- размещение различного оборудования для электроэнергетики;
- организация систем удаленного доступа, телеметрии;
- размещение оборудования, обеспечивающего сотовое покрытие определенной площади.

Выбор конструкции.

Выбор той или иной конструкции определяется многими факторами, задаваемыми, как правило, еще на этапе проектирования:

- высота подвеса секторных антенн – это основное условие определяющее высоту конструкции
- весовая нагрузочная способность, которая зависит от веса всего оборудования, размещаемого на конструкции
- ветровая нагрузка – определяется районом, где размещается сооружение, а также типом и количеством устанавливаемого оборудования.
- прочие факторы:экологичность, энергетическая эффективность, удобство обслуживания и т.п. также учитываются при выборе сооружения.

1.3 Типы антенно-мачтовых сооружений

Конструктивно телескопические мачты представляют собой тонкостенные трубы (толщина стенки около 1,5 мм), которые вставлены друг в друга по принципу бытовых антенн. Нижняя часть трубы всегда неподвижна, а последующие вытягиваются на специальных установках. Телескопический принцип устройства мачт позволяет транспортировать и устанавливать их без использования специальной техники. Крепление труб между собой осуществляется при помощи стопорных и подпорных болтов, пружинных шайб, что способствует предупреждению расстыковки колен мачты.



Рисунок 1.1– Телескопическая мачта

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

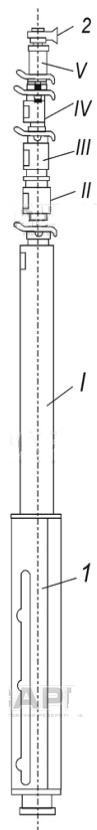


Рисунок 1.2 –Схема ствола телескопической мачты

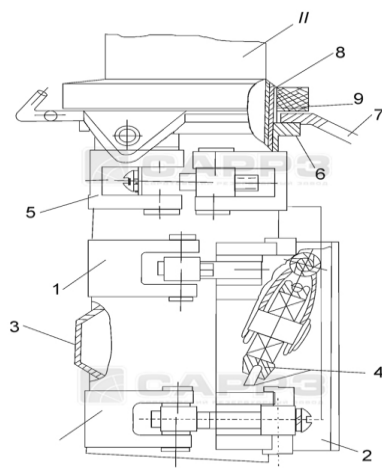


Рисунок 1.3–Схема неподвижной секции телескопической мачты

Основные конструктивные элементы ствола мачты – это подставка, гнездо антенны, одна неподвижная секция и несколько подвижных секций.

На этой секции в верхней части дюралюминиевой трубы хомутами 1 закреплен литой алюминиевый корпус 2 и стальной вкладыш 3.

Внутри корпуса размещен верхний блок 4 силового троса. На вершине трубы установлен и закреплен хомутом 5 стальной корпус 6,

предназначенный для очистки наружной поверхности подвижной секции от льда и грязи. На нем установлено подвижное кольцо 7 с ушками для закрепления оттяжек и скобами для запасов фидерных кабелей. Там же помещены фетровый сальник 8 и направляющее капроновое кольцо 9. Внутри трубы неподвижной секции установлена на винтах призматическая шпонка, предотвращающая проворачивание следующей подвижной секции.

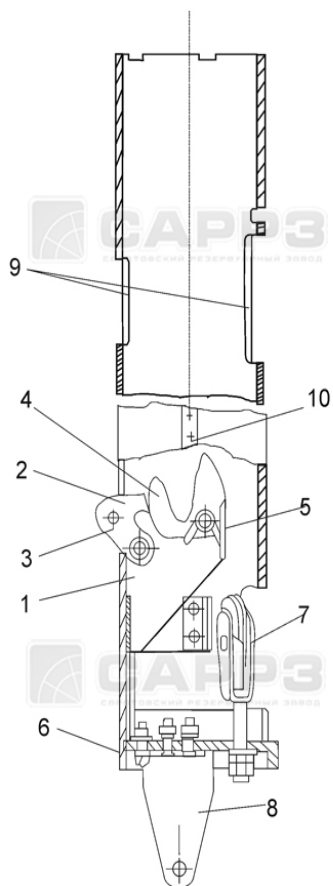


Рисунок 1.4—Схема подвижной секции телескопической мачты

В нижней части труб подвижных секций II, III, IV установлен замок, соединяющий секции между собой. Замок выполнен в виде сварного корпуса 1 (рис. 3), внутри которого закреплена собачка 2 с роликом 3, запорный рычаг 4 с пружиной 5. В нижней части секций установлен алюминиевый корпус 6 с нижним блоком 7 силового троса и хвостовиком 8 на III и IV секциях. На II секции хвостовик отсутствует. В верхней части подвижных секций, кроме пятой, установлены алюминиевый и стальной корпусы, аналогичные корпусам неподвижной секции. В верхней части I, II и III секций в трубе имеется по два окна 9 для размещения верхнего блока и

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
						8

стального вкладыша. Подвижные секции II, III и IV внутри труб имеют призматическую шпонку 10, подобную устанавливаемой на первой секции.

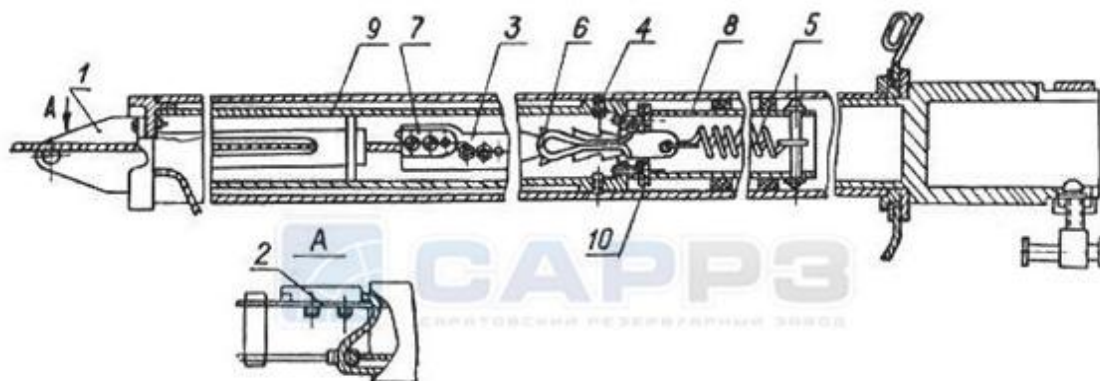


Рисунок 1.5– Схема подвижной секции телескопической мачты

Подвижная секция 2 отличается тем, что ее нижняя часть выполнена в виде алюминиевого корпуса, на котором установлен хвостовик 1, аналогичный хвостовику секций III и IV. На этом хвостовике закреплен стальной накладкой 2 подъемный конец силового троса. Внутри трубы секции V установлено натяжное устройство, при помощи которого подтягивается опускной конец силового троса.

Вертикальная устойчивость мачты обеспечивается системой оттяжек (растяжек): они закрепляются на мачте хомутом, а специальные крепежные элементы монтируются в фундамент, грунт, стену или кровлю. Количество растяжек рассчитывается исходя из высоты мачты: до 6 м – 1 растяжка, до 10 м – 2 растяжки, до 14 м – 3 растяжки, до 25 м – 4 растяжки.

Область применения подобных мачт очень обширна: телевизионные антенны, мобильная связь, радио- и телесвязь, электроэнергетика, ветрогенераторы и т.д.

Традиционно Саратовский резервуарный завод производит телескопические мачты из нержавеющей стали и алюминиевых сплавов. В качестве антикоррозионной защиты применяется порошковая окраска или горячее оцинкование. Высота одного колена мачты – 2 м. Общая высота конструкции от 2 до 25 м. Высота зависит от технических требований к эксплуатации и от требований Заказчика и определяется количеством трубчатых секций. Скорость ветра во время эксплуатации не должна превышать 25 м/с.

Монтаж телескопических мачт может осуществляться непосредственно на ровную поверхность грунта, на бетонную подушку, к стене при помощи стеновых опор, на крышу.

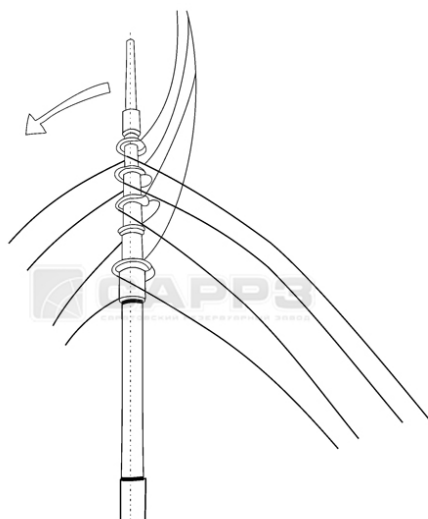


Рисунок 1.6– Схема присоединения растяжек к стволу мачты



Рисунок 1.7–Составные мачты

Составные или сборные мачты представляют собой сборную конструкцию из труб, соединенных втулками между собой. В комплект мачтовой системы входят опорная площадка (платформа) или подпятник, система растяжек и креплений.

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

Стакан-подъемник предназначен для подъема груза на всю высоту мачты. Он также используется для наращивания ярусов мачты в процессе ее установки.

Высота составных мачт и материал изготовления рассчитывается исходя из эксплуатационных требований (масса поднимаемого оборудования, температурные и ветровые нагрузки). Максимальная высота стальных мачт – до 20 м., алюминиевых и дюралюминиевых – 10-12 м.

Саратовский резервуарный завод производит трубы для составных мачт из алюминия, дюралюминия, стали, в том числе нержавеющей. Стандартно стальные трубы для составных мачт производят диаметром 76 мм и толщиной стенки 1,5 мм. Алюминиевые трубы изготавливают толщиной 2 мм и диаметром 50 мм.

Для обеспечения антикоррозионной защиты поверхность металлоконструкций покрывают порошковой краской или делают оцинковку металла.

Составные мачты применяются для установки легких антенных комплексов, что напрямую зависит от эластичности и мягкости используемого материала.

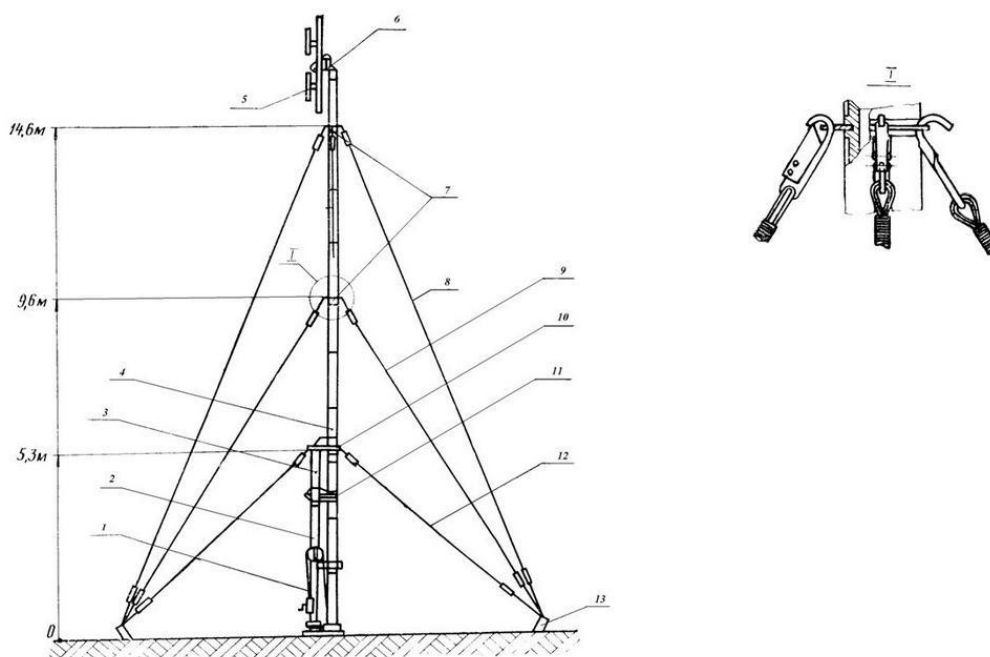


Рисунок 1.8–Схема составной мачты

1.Подъемник 2. Колено мачты 3. Колено мачты 4.Колено 5. Антенна 6. Хомут крепления антенны 7. Фланец 8. Растяжка 3-го яруса 9. Растяжка 2-го яруса 10. Втулка 11. Хомут 12. Растяжка 1-го яруса



Рисунок 1.9– Ферменные мачты

Конструктивно ферменные мачты представляют собой секции с треугольным сечением, высота которых варьируется от 2 до 3 метров, а ширина ребра сечения которых – от 0,2 м до 1,2 м. Максимальная высота мачты такого типа может достигать до 90 м (башни), что зависит от технических требований и условий эксплуатации.

Толщина и конструкция секции зависит от требований к устойчивости конструкции и от условий эксплуатации. Так, секция мачты может производиться в виде стальных угловых элементов или стальных труб (для более высоких нагрузок).

Крепление ярусов (или поясов) между собой осуществляется болтами через фланцевые соединения.

В соответствии с существующими нормами и правилами предусмотрено цветочередование поясов мачты.

Ферменные мачты могут быть установлены в вертикальное положение растяжками. Существуют и самонесущие мачты, установленные на пригруженные опоры, или башни.

Самонесущая ферменная мачта устанавливается на пригруженную стальную опору, которая представляет собой решетчатую трехгранную призму, которая в нижней части крепится раскосами.

1.4 Эксплуатация

Для безопасной эксплуатации антенно-мачтовых сооружений металлические конструкции должны обеспечивать безопасность их эксплуатации, для чего перед проектированием и изготовлением проводятся инженерные изыскания: изучаются поверхность размещения антенно-мачтовых сооружений, методы и способы крепления, коррозия, негативные воздействия. Все нагрузки на конструкцию антенн, мачт и башен влияют на выбор материала, конструктивного вида, размер, способы крепления и монтажа и, соответственно, на стоимость готового сооружения.

Все антенно-мачтовые сооружения должны отвечать нижеперечисленным эксплуатационным требованиям:

- температурный режим эксплуатации - -40°C - $+60^{\circ}\text{C}$
- влажность воздуха – 25-99%

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

-антенны и мачты должны размещаться не выше 2000 м над уровнем моря

-ветровая нагрузка — не более 40 м/с

-возможность круглогодичной эксплуатации.

Так, традиционно антенно-мачтовые сооружения производят из малоуглеродистой стали, из стальных и чугунных отливок, из низколегированной, марганцевой, кипящей и бессемеровской сталей, алюминиевых сплавов. Разные конструктивные элементы в силу своего назначения могут быть выполнены из разного металла, но механические и химические его свойства не должны сильно отличаться друг от друга для качественного их соединения и крепления между собой.

Соединение и крепление элементов всей конструкции осуществляется обычными или высокопрочными болтами (если элементы не крупные). Укрупненные части сваривают (автоматическая или полуавтоматическая сварка).

Из-за сильного негативного воздействия окружающей среды, что связано с круглогодичной эксплуатацией на открытом воздухе, все поверхности антенно-мачтовой конструкции обрабатывают грунтовкой или полимерной композицией для обеспечения антикоррозионной защиты. Также в процессе изготовления металлической конструкции может использоваться метод горячего цинкования стали.

Конструктивно антенны, мачты и башни представляют собой сооружения высотой до 350 м. Антенно-мачтовое сооружение может состоять из нескольких ярусов (поясов, секций), каждый из которых может достигать в длину 11 м. Нижние пояса геометрически представляют собой усеченную пирамиду, последующие – треугольник.

1.5 Элементы антенно-мачтовых сооружений

Основными конструктивными элементами антенно-мачтовых сооружений:

- 1) фундамент
- 2) несущая металлическая конструкция
- 3) лестницы и площадки обслуживания
- 4) устройства приема и передачи
- 5) световое ограждение
- 6) устройства молниезащиты

В зависимости от технико-эксплуатационных характеристик антенно-мачтовых сооружений, последние бывают:

Телескопические мачтовые сооружения высотой от 2 до 25 м, состоящие из соединенных между собой (болтами и шайбами) труб, которые вставлены друг в друга по принципу телевизионной антенны;

составные мачты высотой до 12 м, состоящие из соединенных втулками между собой труб;

ферменные мачты высотой до 90 м, состоящие из стальных угловых элементов или труб, соединенных между собой болтами через фланцевые соединения. Для обеспечения вертикальной устойчивости мачты или крепятся растяжками, или устанавливаются на пригруженные опоры (самонесущие мачты).



Рисунок 1.10– Ферменное антенно-мачтовое сооружение.

Как правило, многопроволочные провода изготавливаются из круглых проволок, причем в центре помещаются одна, две, три или четыре проволоки одинакового диаметра. Наиболее распространены конструкции с одной центральной проволокой (рис. 1-1, а); провода с тремя свитыми вместе центральными проволоками (рис. 1-1, б) применяются в случаях, когда желательно увеличить диаметр провода.

На центральную проволоку (или проволоки) навивается один или несколько концентрических повивов (слоев) проволок в зависимости от требуемого сечения провода.

После скрутки каждая проволока, кроме одной–центральной, располагается по винтовой линии. Высота подъема винтовой линии при ее обороте вокруг оси провода называется шагом скрутки. Шаг скрутки можно выражать в миллиметрах; более удобно определять шаг скрутки отношением его длины к диаметру окружности, проведенной из центра провода по центрам проволок, составляющих соответствующий повив.

Скрутка влияет также на разрывную прочность провода: прочность многопроволочного провода всегда меньше суммы прочностей отдельных проволок, из которых свита данная мачта.

Разрывное усилие многопроволочной алюминиевой мачты рассчитывают по формуле:

$$P = a \sum p_z \quad (1.1)$$

где p –разрывное усилие одной проволоки по соответствующему стандарту; a –коэффициент, учитывающий сращивание отдельных проволок и разброс их механических характеристик. При числе проволок в проводе не более 37 коэффициент $a = 0,95$, при большем числе проволок $a = 0,90$.

Разрывное усилие многопроволочной сталеалюминиевой мачты определяют по формуле:

$$p = b \sum p_a + c \sum p_c \quad (1.2)$$

где p_a – разрывное усилие одной алюминиевой проволоки, определяемое по ГОСТ 6132 –71; b – коэффициент, принимаемый равным 0,92 для проводов с однопроволочным стальным сердечником и шестью алюминиевыми проволоками и для мачт всех остальных конструкций; p_c – усилие в одной стальной проволоке c – коэффициент, принимаемый равным 1,0 при одной проволоке в сердечнике, 0,92 - при семи и 0,95 - при числе проволок в сердечнике больше 7.

1.6 Стальной канат

Стальной канат (трос) – это гибкое металлическое изделие, которое изготавливается из стальной проволоки и состоит из нескольких скрученных между собой прядей, а каждая прядь имеет сердечник, обвитый тонкой высокопрочной проволокой. Сверху канат может покрываться цинком или алюминием для придания нержавеющей свойств.

Сердечник выполняет функцию амортизатора и внутренней опоры для прядей, он может быть выполнен из различных материалов: органических,

металлических, синтетических, натуральных. Его основная задача – сопротивляться радиальному давлению жил при нагрузке на трос, не допуская его поперечной деформации.

Сердечник заполняет пустоты, которые образуются между скрученными проволоками. Смазка, которой он пропитан, в процессе эксплуатации изделия проникает между проволоками, защищая их от коррозии.

1.7 Классификация стальных канатов

Стальные канаты насчитывают много разновидностей и имеют различные классификации, которые отличаются друг от друга по типам и конструкции:

По методу плетения волокон стальные канаты делятся на витые, невитые, плетеные;

Они имеют различные формы поперечного сечения и различаются по сечению элементов (круглые, круглопрядные, трехграннопрядные, закрытой конструкции);

В зависимости от материала сердечника они бывают: с органическим, натуральным, синтетическим и металлическим сердечником;

По способу изготовления они подразделяются на нераскручивающиеся, раскручивающиеся, рихтованные;

По виду свивки (одинарная, двойная, тройная), а также направлению свивки прядей.

По назначению канаты делятся на четыре группы:

Подвижные – используются в экскаваторах и кранах в качестве подъемных тросов;

Неподвижные – с обоих концов они крепко закреплены, поэтому применяются в качестве направляющей конструкции;

Такелажные – используются тогда, когда необходимо подвесить груз, они используются в качестве петель;

Несущие – используются для перемещения транспортных средств, например в подъемниках на горнолыжных склонах.

Стальной трос совмещает в себе достоинства арматуры и проволоки высокой прочности, он широко используется в строительстве (в качестве несущих элементов конструкций), горнодобывающей промышленности (в качестве вспомогательных элементов грузоподъемных установок и землеройного оборудования), а также на речном и морском транспорте.

Надежная конструкция позволяет выдерживать стальному канату значительные нагрузки, которые могут оказывать различные строительные манипуляции, например, подъем бетонных плит на большую высоту.

Из металлических канатов изготавливаются и канатные стропы (или чалки) – гибкие грузозахватные приспособления, используемые для подвески грузов к крюкам и другим рабочим органам грузоподъемных машин.

					БР - 15.03.03 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		16

Стропы используются при выполнении различных погрузочно-разгрузочных работ, а также при транспортировке тяжеловесных и крупногабаритных грузов, которые имеют специальные петли, скобы или проушины для захвата.

По основному конструктивному признаку:

Одинарной свивки или спиральные состоят из проволок, свитых по спирали в один или несколько концентрических слоев. Канаты одинарной свивки, свитые только из круглой проволоки, называют обыкновенными спиральными канатами. Спиральные канаты, имеющие в наружном слое фасонные проволоки, называют канатами закрытой конструкции. Канаты одинарной свивки, предназначенные для последующей свивки, называют пряжами.

Двойной свивки состоят из прядей, свитых в один или несколько концентрических слоев. Канаты двойной свивки могут быть однослойные или многослойные. Широкое распространение получили однослойные шестипрядные канаты двойной свивки. Канаты двойной свивки, предназначенные для последующей свивки, называют стренгами.

Тройной свивки состоят из стренг, свитых по спирали в один концентрический слой.

По форме поперечного сечения прядей:

Фасоннопрядные (трехграннопрядные, плоскопрядные), имеют значительно большую поверхность прилегания к шкиву, чем круглопрядный.

По типу свивки прядей и канатов одинарной свивки:

ТК – с точечным касанием проволок между слоями;

ЛК – с линейным касанием проволок между слоями;

ЛК-О – с линейным касанием проволок между слоями при одинаковом диаметре проволок по слоям пряди;

ЛК-Р – с линейным касанием проволок между слоями при разных диаметрах проволок в наружном слое пряди;

ЛК-З – с линейным касанием проволок между слоями пряди и проволоками заполнения;

ЛК-РО – с линейным касанием проволок между слоями и имеющих в пряди слои с проволоками разных диаметров и слои с проволоками одинакового диаметра;

ТЛК – с комбинированным точечно-линейным касанием проволок в прядях;

Пряди с точечным касанием проволок изготавливают за несколько технологических операций в зависимости от числа слоев проволок. При этом необходимо применять разные шаги свивки проволок для каждого слоя пряди и повивать следующий слой в противоположном направлении предыдущему. В результате проволоки между слоями перекрещиваются. Такое расположение проволок увеличивает их износ при сдвигах в процессе эксплуатации, создает значительные контактные напряжения, способствующие развитию в проволоках усталостных трещин, и уменьшает

коэффициент заполнения сечения каната металлом. Пряди с линейным касанием проволок изготавливают за один технологический прием; при этом сохраняется постоянство шага свивки, и одинаковое направление свивки проволок для всех слоев пряди, что при правильном подборе диаметров проволок по слоям, дает получение линейного касания проволок между слоями. В результате значительно снижается износ проволок и резко возрастает работоспособность канатов с линейным касанием проволок в прядях в сравнении с работоспособностью канатов типа ТК.

По материалу сердечника:

ОС – с органическим сердечником – в качестве сердечника в центре каната, а иногда и в центре прядей, используются сердечники из натуральных, синтетических и искусственных материалов – из пеньки, манилы, сизали, хлопчатобумажной пряжи, полиэтилена, полипропилена, капрона, лавсана, вискозы, асбеста;

МС – с металлическим сердечником – в качестве сердечника, в большинстве конструкций, применяется канат двойной свивки из шести семи проволочных прядей, расположенных вокруг центральной семи проволочной пряди, в канатах по ГОСТ 3066-80, 3067-88, 3068-88 в качестве МС применяется прядь той же конструкции, что и в повиве. Их целесообразно применять тогда, когда надо повысить структурную прочность каната, уменьшить конструктивные удлинения каната при растяжении, а также при высокой температуре среды, в которой работает канат.

По способу свивки:

Нераскручивающихся канатах – пряди и проволоки сохраняют заданное положение после снятия вязок с конца каната или легко укладываются в ручную при незначительном раскручивании, что достигается предварительной деформацией проволок и прядей при свивке проволок в прядь и прядей в канат;

Раскручивающихся канатах – проволоки и пряди предварительно не деформированы или недостаточно деформированы перед их свивкой в пряди и в канат. Поэтому пряди в канате и проволоки в прядях не сохраняют своего положения после снятия вязок с конца каната.

По степени уравниваемости:

Рихтованный канат – Р – не теряет своей прямолинейности (в пределах допустимого отклонения) в свободном подвешенном состоянии или на горизонтальной плоскости, т.к. после свивки прядей и шпата соответственно напряжения от деформации проволок и прядей сняты рихтовкой;

Нерихтованный канат – не обладает таким свойством, свободный конец нерихтованного каната стремится образовать кольцо, за счет напряжений деформации проволок и прядей полученных в процессе изготовления каната.

По направлению свивки каната:

Правой свивки – не обозначается;

Левой свивки – Л.

Направление свивки каната определяется: направлением свивки проволок наружного слоя – для канатах одинарной свивки; направлением свивки прядей наружного слоя – для канатов двойной свивки; направлением свивки стренг в канат – для канатов тройной свивки

Односторонней свивки– О – направление свивки прядей в канат и проволоки в прядях одинаковы;

Комбинированной свивки– К с одновременным использованием в канате прядей правого и левого направления свивки.

По степени крутимости:

Крутящиеся – с одинаковым направлением свивки всех прядей по слоям каната (шести – и восьмипрядные канаты с органическим и металлическим сердечником);

Малокрутящиеся–(МК) с противоположным направлением свивки элементов каната по слоям (многослойные, многопрядные канаты и канаты одинарной свивки). В некрутящихся канатах благодаря подбору направлений свивки отдельных слоев проволок (в спиральных канатах) или прядей (в многослойных канатах двойной свивки) устраняется вращение каната вокруг своей оси при свободном подвешивании груза.

По механическим свойствам проволоки:

Марка ВК– высокого качества;

Марка В– повышенного качества;

Марка 1– нормального качества.

По виду покрытия поверхности проволок в канате:

Из проволок без покрытия;

Из оцинкованной проволоки в зависимости от поверхностной плотности цинка:

группа С– для средних агрессивных условий работы;

группа Ж– для жестких агрессивных условий работы;

группа ОЖ – особо жестких агрессивных условий работы;

П – канат или пряди покрыты полимерными материалами.

По назначению каната:

Грузолюдские–ГЛ – для подъема и транспортировки людей и грузов;

Грузовые – Г – для подъема и транспортировки и грузов.

По точности изготовления:

Нормальной точности – не обозначается

Повышенной точности – Т – ужесточенными предельными отклонениями по диаметру каната

1.8 Измерения каната.

Диаметр каната определяется длиной его окружности, разделенной на 3,14, или умноженной на 0,32. Диаметр каната можно также измерить штангенциркулем, для чего следует зажать канат между лапками

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

штангенциркуля так, чтобы они касались двух противоположных прядей каната.

Для определения длины шага свивки на поверхности произвольно выбранной пряди наносится метка а, через которую проводят линию вдоль оси каната, и по ней отсчитывают столько прядей, сколько их имеется в сечении каната (например, 6), и на следующей (седьмой) наносят вторую метку В. Расстояние между точками а и б, измеренное по линии, и представляет шаг свивки каната.

Браковка стальных канатов

Браковка изношенных стальных канатов производится по следующим основным признакам:

а) поверхностный износ за счет стирания проволок от трения при работе и коррозии;

б) обрыв отдельных проволок

При обрыве части проволок в одной пряди каната на длине одного шага свивки канат может быть применен для дальнейшей работы при условии не превышения нормы количества оборванных проволок, установленного Госгортехнадзором и приведенных в табл. 1 и 2. При обрыве целой пряди канат бракуется и к дальнейшей работе не допускается.

Правила обращения со стальными канатами.

Таблица 1.1 –Нормы количества обрывов проволок каната

Конструкция каната	Коэффициент запаса прочности каната	Количество обрывов проволок на длине одного шага свивки, при котором канат бракуется
6Х19 = 114 проволок и 1 органический сердечник	До 6	12
	6–7	14
	Свыше 7	16
6Х37 = 222 проволок и 1 органический сердечник	До 6	22
	6–7	26
	Свыше 7	30
6Х61 = 366 проволок и 1 органический сердечник	До 6	36
	6–7	38
	Свыше 7	40

Таблица 1.2 – Коэффициенты уменьшения норм количества обрывов проволок каната

Поверхностный износ или коррозия проволок, %	Коэффициенты уменьшения, на которые надо умножить допусковое количество обрывов проволок,
10	0,85
15	0,75
20	0,7
25	0,6
30 и более	0,5

г) Канаты должны смазываться в следующие сроки: грузовые (полиспастные) — 1 раз в 2 месяц, чалочные и стропы - 1 раз в 1,5 месяца, расчалки - 1 раз в 3 месяца, хранящиеся на складах- 1 раз в 6 месяца. Перед смазкой поверхность каната должна быть тщательно очищена от грязи и ржавчины, для чего канат промывают керосином и протирают ветошью или очищают травяными или волосяными щетками.

Стальные канаты и металлические сердечники должны изготавливаться из проволоки по ГОСТ7372.

Канаты изготавливаются по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

Канаты из светлой проволоки можно очищать металлическими щетками. Оцинкованные канаты металлической щеткой очищать запрещается во избежание нарушения покрова цинка. Для смазки стальных канатов применяются канатные мази, приведенные в табл. 11. При приготовлении мази смешиваемые продукты подогреваются до 60°С. Смазку стальных канатов производят в ванне, заполненной канатной мазью, подогретой до 60 гр. С.

Срок службы стальных канатов зависит от бережного обращения и правильного ухода за ними как при хранении, так и во время производства работ. Для повышения срока службы канатов необходимо:

а) Хранить канаты смазанными в бухтах или на барабанах, в сухих хорошо проветриваемых помещениях, на деревянных настилах или подкладках, но не непосредственно на земле во избежание быстрого ржавления каната.

б) Намотку и размотку канатов следует производить так, чтобы избежать образования петель. При образовании петли ее нужно немедленно выпрямить до продолжения дальнейшей намотки и размотки.

в) Перед перерубкой каната следует перевязать его с обеих сторон от места перерубки мягкой проволокой (наложить бандажи); при этом

расстояние между бандажами должно быть равным 3-4 диаметрам каната, а длина проволоки для бандажа не менее 20 диаметров каната.

1.9 Характеристики

В качестве органических сердечников должны применяться: пеньковые, сизалевые, полипропиленовые сердечники по ГОСТ 5269 или другой нормативной документации; джутовые, пенькоджутовые сердечники по нормативной документации; сердечники из твердого полимера или других химических волокон по нормативной документации; пряжа хлопчатобумажная и корд хлопчатобумажный по нормативной документации.

Допускается по согласованию изготовителя с потребителем применение сердечника из других материалов.

При отсутствии требований потребителя выбор материала сердечника производится изготовителем.

Сердечники из натурального волокна, хлопчатобумажной пряжи и корда должны быть пропитаны смазкой по ГОСТ 15037 или смазкой по нормативно-технической документации.

По требованию потребителя сердечник не пропитывается.

Канаты из проволоки без покрытия и оцинкованной должны быть смазаны канатными смазками по нормативно-технической документации. По согласованию изготовителя с потребителем допускается нанесение на канат других видов смазки.

По требованию потребителя канаты изготавливаются несмазанными полностью или с несмазанной наружной поверхностью.

В канате не должно быть западающих, перекрещивающихся и оборванных проволок, западающих прядей.

Допускается на поверхности оцинкованной проволоки канатов и на поверхности прядей с полосовым касанием проволок наличие следов силовой обработки.

Диаметры проволок в канатах должны соответствовать требованиям стандартов на сортамент. Допускается уточнение диаметров проволок, при этом равные диаметры проволок одного слоя изменяются на одинаковую величину.

В канатах марки 1 на одном метре каната допускается не более двух соединений проволок в разных поперечных сечениях, в канатах марок ВК и В - не более одного соединения на расстоянии 10 м.

Канат должен иметь по всей длине равномерный шаг свивки элементов каната.

Шаг свивки наружного слоя проволок в прядях линейного касания проволок, точечного касания проволок, в трехгранных прядях и однопрядных металлических сердечниках должен составлять не более 11 диаметров пряди.

						БР - 15.03.03 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>			22

Шаг свивки проволок в канатах одинарной свивки, а также в канатах и прядях конструкции 1+6 должен быть не более 11 диаметров пряди.

Шаг свивки круглопрядных канатов должен составлять не более 7 диаметров в канатах двойной свивки, стренгах и канатах тройной свивки и металлических сердечниках. Шаг свивки в канатах фасоннопрядных должен составлять не более 7,5 диаметров каната, в стренгах и прядях плоского каната - 16 диаметров.

16 диаметров в стренгах и прядях плоского каната.

По согласованию изготовителя с потребителем допускается шаги свивки наружного слоя проволок в прядях увеличить до 11 диаметров пряди, а каната - до 7 диаметров каната, при этом оптимальное соотношение шагов свивки в указанных пределах определяется в соответствии с методикой, приведенной в приложении 2.

Концы канатов у места отреза должны быть прочно обвязаны мягкой проволокой или другим материалом, обеспечивающим целостность концов каната.

Для канатов диаметром до 14,5 мм включительно конец каната может быть заварен вместо обвязки. Торцы канатов диаметром более 57,0 мм с металлическим сердечником должны быть заварены.

По требованию потребителя допускается другой способ заделки конца каната, обеспечивающий целостность каната, предотвращающий его раскручивание и облегчающий монтаж.

Диаметр каната, ширина и толщина плоского каната должны соответствовать нормам, указанным в соответствующих стандартах на сортамент стальных канатов.

Предельное отклонение по ширине и толщине плоских канатов должно быть не более:

- +5% - для повышенной точности,
- 8%
- ±8% - для нормальной точности.

Проволоки должны быть соединены стыковой электросваркой или высокотемпературной пайкой.

Допускается концы оборванных проволок диаметром 0,55 мм и менее заделывать посредством прошивки через сечение прядей или соединять узлом. При этом допускается местное утолщение и нарушение свивки в месте соединения концов проволоки.

Канаты с органическим сердечником могут иметь зазоры между прядями, при этом диаметр каната не должен превышать предельных отклонений, приведенных в табл.3. Допускается зазор между прядями в канатах с металлическим или металлоорганическим сердечником и выступающий ворс от органического сердечника в канатах с органическим сердечником.

Таблица 1.4 – Предельное отклонение по диаметру каната

Диаметр каната, мм	Предельное отклонение канатов одинарной свивки, %, не более	
	повышенной точности	нормальной точности
До 1,5 включительно	+5	+10
Св. 1,5 до 8,0 включительно	+4	-2
>8,0 >16,0		
Св. 16,0	+3	+6 -2

Длина каната устанавливается потребителем. Допускаемое отклонение по длине должно быть не более для канатов длиной:

$$\leq 400 \text{ м} - \frac{+5}{0} \% ,$$

$$> 400 \text{ м} - \frac{20}{0} \text{ м на каждые } 1000$$

При отсутствии указания длины канат изготавливают длиной не менее 200 м. Канаты длиной менее 200 м поставляют по согласованию с потребителем.

В случае, если указывается кратная или монтажная длина, а канат изготавливается общей длиной, то предприятие-изготовитель накладывает проволочные вязки на указанные длины.

В канатах из проволоки без покрытия допускается замена проволок внутреннего слоя, центральных проволок и проволок сердечника оцинкованными проволоками соответствующего диаметра. При этом оцинкованная проволока должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к проволоке без покрытия.

В канатах из оцинкованной проволоки замена оцинкованных проволок проволоками без покрытия не допускается.

Поверхностная плотность цинка и сцепление его со стальной основой должны соответствовать требованиям ГОСТ 7372.

Таблица 1.5 – Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок

Номинальный диаметр проволоки, мм	Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок каждого
-----------------------------------	--

	диаметра, взятых из каната, от маркировочной группы каната, %, для марок		
	ВК	В	1
До 0,75 включительно	18	20	23
Св. 0,75 до 1,60 включительно	16	18	21
> 1,60 > 1,80	15	17	19
> 1,80	14	16	18

Допускается на испытанных проволоках, взятых из каната, снижение поверхностной плотности цинка на 5% от норм, установленных ГОСТ 7372, при этом среднее арифметическое значение поверхностной плотности цинка должно соответствовать ГОСТ 7372 для проволок каждого диаметра.

Суммарное разрывное усилие всех проволок в канате и разрывное усилие каната в целом должно быть не менее значений, указанных в соответствующих стандартах на сортамент при заданной маркировочной группе.

Механические свойства проволок, взятых из каната, должны соответствовать требованиям ГОСТ 7372. Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок, взятых из каната, за исключением центральной проволоки и проволок заполнения, не должен превышать значений, приведенных в табл. 1.5.

Значения допускаемого разбега временного сопротивления разрыву округляются до целых чисел в сторону увеличения.

Допускается снижение числа перегибов и скручиваний проволок на единицу и показателей по разрыву с узлом на 2% от норм, установленных ГОСТ 7372.

Для промежуточных диаметров круглопрядных канатов и маркировочных групп канатов, для которых в стандартах на сортамент отсутствуют значения разрывных усилий каната, значение суммарного разрывного усилия каната должно быть не менее произведения площади поперечного сечения всех проволок в канате и маркировочной группы каната, значение разрывного усилия каната в целом - не менее произведения суммарного разрывного усилия всех проволок в канате и коэффициента потерь при свивке соответствующей маркировочной группы.

При изготовлении каната в рихтованном исполнении максимальное отклонение оси каната на отрезке длиной, равной 50 его диаметров, должно быть не более: 10 диаметров для канатов с органическим сердечником, 15 диаметров для канатов с металлическим и металлоорганическим сердечником и канатов одинарной свивки.

1.10 Методы испытаний

Для проверки механических свойств, размера проволок каната, наличия смазки в канате и сердечнике, качества цинкового покрытия от каждого каната отбирают отрезок длиной не менее: 1,0 м - для канатов из

проволоки без покрытия, 1,5 м - для канатов из оцинкованной проволоки. От отрезка каната отбирают проволоки в количестве, указанном в табл.6.

Количество проволок, полученное расчетом, округляется до целого числа в сторону увеличения.

При повторном испытании каната количество испытываемых проволок должно соответствовать нормам для грузоподъемного каната.

Для канатов марок ВК, В и 1 грузового назначения при испытании каната на разрывное усилие в целом допускается оценивать марку каната по результатам испытания механических свойств 10% проволок каждого диаметра в канате, но не менее трех.

Осмотр поверхности каната, наличие смазки в канате и сердечнике проводится визуально без увеличительных приборов.

Таблица 1.6 – Испытания проволок

Вид испытания	Количество испытываемых проволок	
	в грузоподъемном канате	в грузовом канате
На растяжение, перегиб и измерение диаметра проволок	100% проволок	25% проволок каждого диаметра, но не менее трех
На скручивание	25% проволок каждого диаметра, но не менее трех	10% проволок каждого диаметра, но не менее трех
Проверка качества поверхностной плотности цинка	10% проволок каждого диаметра, но не менее трех	
Проверка прочности сцепления цинка со стальной основой	10% проволок каждого диаметра, но не менее трех	

Диаметр каната должен проверяться, как показано на рис.1, штангенциркулем по ГОСТ 166 с ценой деления 0,1 мм или микрометром по ГОСТ 6507 с ценой деления 0,01 мм на расстоянии не менее 5 м от конца каната в ненагруженном состоянии. Измерение диаметра каната проверяется в двух взаимно-перпендикулярных направлениях в одном поперечном сечении каната на расстоянии друг от друга не менее 1 м. За результат измерения принимается среднее арифметическое значение четырех замеров.

Ширина и толщина плоского каната должны проверяться линейкой по ГОСТ 427 с ценой деления 1 мм. Ширина плоского каната измеряется без учета толщины ушивальника.

Шаг свивки каната должен проверяться линейкой по ГОСТ 427 с ценой деления 1 мм на расстоянии не менее 5 м от конца каната. За длину шага свивки принимается среднее арифметическое не менее чем трех измерений.

Длина каната определяется по счетчику при его изготовлении.

Проверка нераскручиваемости каната должна осуществляться удалением перевязок и мест заварки. В нераскручивающихся канатах пряди в канатах двойной и тройной свивки, наружные пряди в многопрядных канатах, проволоки в канатах одинарной свивки могут раскручиваться на расстоянии не более одного шага свивки от конца каната, или могут раскручиваться на расстоянии не более пяти шагов свивки таким образом, чтобы их можно было легко вернуть в прежнее положение. Металлические сердечники при этом могут быть раскручивающимися.

Для проверки степени уравновешенности канат длиной, равной 50 его диаметров, свободно располагают на горизонтальной поверхности и измеряют максимальное отклонение оси каната от прямой, проведенной между его концами.

Диаметры проволок должны проверяться микрометром по ГОСТ 6507 с ценой деления 0,01 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях в одном поперечном сечении проволоки на прямолинейном участке.

Суммарное разрывное усилие всех проволок в канате в ньютонах вычисляют по результатам испытания проволок на растяжение по формуле:

$$P = \sum_1^i \left[\left(\sum_1^z P_2 \right) \frac{n}{z} \right], \quad (1.3)$$

где i – число групп проволок одинакового диаметра;

z – количество испытанных проволок каждой группы по диаметру;

P_z – разрывное усилие одной проволоки данной группы по диаметру,

Н;

n – количество проволок каждой группы по диаметру.

Фактическую оценку маркировочной группы каната производят по результатам испытаний. Канат может быть отнесен к любой из маркировочных групп, если суммарное разрывное усилие или разрывное усилие каната в целом, а также число перегибов и скручиваний проволок не ниже установленных норм для данной группы.

Проверка разрывного усилия каната в целом должна проводиться на разрывной машине с максимальным усилием, не превышающим предполагаемое разрывное усилие каната, более чем в пять раз, и в соответствии с приложением 3.

Испытание считают действительным, если разрывное усилие каната соответствует требованиям стандарта на сортамент. В случае несоответствия разрывного усилия стандартным значениям проводится повторное испытание, результаты которого являются окончательными, если разрыв образца произошел не ближе 50 мм от места закрепления концов каната.

Допускается использовать для контроля механических свойств проволок в канате и подразделения канатов по маркам и маркировочным группам методы статистической обработки результатов испытаний, изложенные в приложении 4. Для канатов грузового назначения допускается применение других статистических методов для контроля механических свойств проволок в канате, подразделения канатов по маркировочным группам и контроля поверхностной плотности цинкового покрытия.

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

2 Методика расчета

2.1 Расчет монометаллических канатов и грозозащитных тросов

В настоящее время применяются многопроволочные монометаллические провода алюминиевые марок А и стальные ПС. Монометаллическими являются также грозозащитные тросы.

Расчет алюминиевых и стальных проводов производится по прочности; допускаемые напряжения в трех исходных режимах указаны в табл. 1-6. Грозозащитные тросы рассчитываются из условия соблюдения расстояний между тросом и проводом, требуемых для грозозащиты

Алюминиевые провода. В ПУЭ-65 для алюминиевых проводов всех сечений был установлен единый коэффициент запаса $\rho = 2(\delta_r = \delta_- = 0,5\delta_b)$ лишь в населенной местности и на пересечениях с различными сооружениями требовался повышенный коэффициент запаса $\rho = 2,5(\delta_r = \delta_- = 0,4\delta_b)$. Опыт эксплуатации показал, что алюминиевые провода, и особенно провода меньших сечений, обрываются значительно чаще, чем сталеалюминиевые. Поэтому коэффициенты запаса в алюминиевых проводах были повышены и дифференцированы в зависимости от сечений с увеличением n при уменьшении сечений. Для вывода формулы критического пролета введем дополнительное обозначение $\delta_d = \delta_r = \delta_-$.

Подставляя в формулу величины, обозначающие значения соответствующие нижней температуре, т. е. δ_d, γ_1 , и t , и значения, соответствующие наибольшей нагрузке, т. е. δ_d, t_r и γ_r получим:

$$l_{2к} = 4,9\delta_d \sqrt{\frac{\alpha(t_r - t_-)}{\gamma_r^2 - \gamma_1^2}}. \quad (2.1)$$

Расчет каната производится по уравнению состояние и будет иметь вид:

Для пролетов меньше критического

$$\delta - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\delta^2} = \delta_d - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24\delta_d^2} - \alpha E (t - t_-). \quad (2.2)$$

Для пролетов больше критического

$$\delta - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\delta^2} = \delta_d - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24\delta_d^2} - \alpha E (t - t_r). \quad (2.3)$$

В уравнение (2.1) и (2.2) следует подставлять значения t , соответствующие вычисляемым режимам.

Напомним, что для алюминиевых проводов сечением до 35 мм^2 $\delta_D = 0,35$, δ_B , сечением $50—95 \text{ мм}^2$ — $0,40\delta_B$, а для проводов сечением 120 мм^2 и более — $0,45$

Иногда в расчетах алюминиевых канатов необходимо вычислить значения всех трех критических пролетов. Второй критический пролет вычисляется по формуле (1), первый и третий критические пролеты при $\delta_D = 0,35\delta_B$, $\delta_D = 0,3\delta_B$, вычисляются по следующим формулам:

$$l_{1K} = \frac{8,05\delta_D}{\gamma_1} \sqrt{\frac{1}{E} [\alpha E(t_D - t_-) - 0,14\delta_D]}; \quad (2.4)$$

$$l_{3K} = \frac{4,9\delta_D}{\gamma_1} \sqrt{\frac{0,05\delta_D + \alpha E(t_r - t_D)}{E \left[\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_1} \right)^2 - 1,36 \right]}}. \quad (2.5)$$

Формулы для расчета l_{1K} и l_{3K} смотреть ниже. Там же описан способ расчета канатов при учете трех критических пролетов.

Стальные канаты. Расчет стальных канатов, как правило, ведется с учетом только третьего критического пролета, определяемого по формуле

$$l_{3K} = \frac{4,9\delta_D}{\gamma_1} \sqrt{\frac{0,3\delta_D + \alpha E(t_r - t_D)}{E \left[\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_1} \right)^2 - 2,04 \right]}}. \quad (2.6)$$

Расчетное уравнение состояния для стальных проводов будет иметь вид:

для пролетов меньше критического

$$\delta - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\delta^2} = \delta_D - \frac{\gamma_D^2 E l^2}{24\delta_D^2} - \alpha E(t - t_D). \quad (2.7)$$

Для пролетов больше критического – уравнение (2.2)

2.2 Определение усилий в стержневых конструкциях опор

Металлические опоры представляют собой стержневые решетчатые конструкции. Основными элементами, к расчету которых приводятся в конечном итоге расчеты всех стальных опор, являются решетчатая пространственная консоль, защемленная нижним концом, и решетчатая

консольная балка на двух опорах. Для определения усилий в стержнях стальных опор достаточно рассмотреть расчет этих двух элементов.

Опоры представляют собой пространственные системы, нагруженные при эксплуатации силами, действующими в пространстве. Опоры и их элементы в большинстве случаев имеют призматическую форму или форму обелисков с малыми углами наклона граней (и следовательно, поясов) к продольной оси. В таких случаях расчет пространственных конструкций может производиться путем разложения нагрузок на составляющие, действующие в плоскости граней, и сводится к расчету плоских ферм. Усилия в поясах при этом представляют собой алгебраическую сумму совместных усилий в поясах смежных плоских ферм. При расчете элементов опор на кручение крутящий момент также раскладывается на пары сил, действующих в плоскости граней.

Стержневой плоской фермой называется система, образованная прямолинейными стержнями, соединенными друг с другом в определенной последовательности шарнирами, расположенными по концам стержней. Шарниры считаются идеальными (т. е. не имеющими трения), а оси стержней — проходящими через центры шарниров. При соединении стержней такими шарнирами и воздействии нагрузок, приложенных в узлах, в стержнях возникают только осевые усилия — растягивающие или сжимающие.

Стержневые фермы должны быть неизменяемыми, т. е. не менять своего вида под действием нагрузки (в данном случае упругие изменения размеров стержней, образующих фермы, не учитываются) Элементарной жесткой фермой является треугольник, в котором три узла связаны тремя стержнями. Для жесткого присоединения к начальному треугольнику последующих узлов необходимы и достаточны каждый раз два новых стержня (их может быть и больше, но все стержни, присоединяющие узел, сверх двух будут лишними). Ферма, образованная таким способом, называется простейшей. Рассматривая процесс образования такой фермы, нетрудно убедиться, что между числом стержней C в ней и числом узлов U справедливо соотношение

$$C > 2(U - 3) + 3 = 2U - 3.$$

так как для присоединения каждого последующего узла к первым трем требуются два стержня, а первые три узла соединяются только тремя стержнями.

Если $C < 2U - 3$, то это значит, что в ферме не хватает стержней и она представляет собой механизм, т. е. изменяема. Равенство $C = 2U - 3$ — это необходимое условие неизменяемости простейшей фермы.

Плоские фермы конструкций стальных опор линий электропередачи, как правило, являются простейшими фермами или образованными наложением двух простейших ферм друг на друга.

Стержневые фермы могут быть статически определимыми или статически неопределимыми. Если ферма удовлетворяет условию $C = 2U - 3$, то она статически определима в отношении усилий в стержнях и для определения этих усилий достаточно трех уравнений статики. Если $C > 2U - 3$ то ферма имеет лишние стержни и является статически неопределимой; для определения усилий в ее стержнях потребуется составление дополнительных уравнений, число Рис. 7-32. Закрепление на опорах плоской фермы которых равно числу лишних неизвестных.

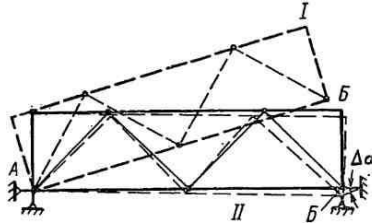


Рисунок 2.1 – Закрепление плоской фермы на опорах.

При расчете опор методом разложения на плоские фермы расчет их закрепления на фундаментах сводится к расчету закрепления плоских ферм. Чтобы закрепить на фундаменте грань опоры, представляющую собой геометрически неизменяемую плоскую ферму, надо присоединить ее к фундаменту тремя стержнями. Для этого обычно используются два узла фермы, причем два стержня присоединяются к одному узлу, а третий – ко второму. Присоединение узла А двумя стержнями (рис. 2) исключает возможность поступательного перемещения грани, не устраняя ее вращения вокруг центра узла А. Если, кроме того, присоединить узел В одним

стержнем, то вращение (положение I) становится невозможным, и грань будет закреплена на фундаменте.

В двух исключительных случаях три стержня не обеспечивают жесткого закрепления фермы.

Первый случай – оси всех трех стержней, с помощью которых закрепляется ферма, пересекаются в одной точке. В этом случае ферма может поворачиваться вокруг мгновенного центра – точки пересечения осей закрепляющих стержней. Действительно, если третий стержень расположим так, как показано на рис. 2.1 штрихами, то ферма получит возможность поворота на малый угол $\Delta\alpha$ вокруг точки А (положение II).

Второй случай – ферма соединена с фундаментом тремя параллельными стержнями. Такое закрепление допускает значительные перемещения фермы, поскольку точка пересечения осей трех параллельных стержней расположена в бесконечности.

Плоские фермы, имеющие три связи с фундаментом и отвечающие условиям жесткого закрепления, называются внешне статически определимыми. Если отбросить опорные связи и заменить их действие

силами, равными по значению усилиям, возникающим в этих связях при действии внешней нагрузки, то равновесие фермы не нарушится и мы получим ферму, находящуюся в равновесии под действием внешних сил и трех неизвестных усилий в отброшенных связях - так называемых реакций связи

Таким образом, в простейшей неизменяемой ферме с числом узлов U и тремя опорными связями общее число неизвестных усилий определяется числом усилий в стержнях фермы ($C = 2U - 3$) и тремя реакциями опорных стержней и будет равно $2U - 3 + 3 = 2U$

Для каждого узла плоской фермы можно составить два уравнения статики:

$$\sum X_i = 0; \quad \sum Y_i = 0, \quad (2.8)$$

где X_i и Y_i - проекции сил, действующих в узле, на координатные оси O_x и O_y (i - порядковый номер стержня).

Таким образом, для всей фермы можно составить $2U$ уравнений, в которые войдут внешние силы и реакции отброшенных связей с фундаментом. Так как число неизвестных в данном случае равно числу уравнений, то задача расчета фермы решается с помощью уравнений статики. При составлении необходимых $2U$ уравнений нужно следить за тем, чтобы эти уравнения были независимыми, т. е. ни одно из них не являлось бы следствием других.

Заметим, что реакции связей могут быть найдены без составления системы уравнений равновесия сил в узлах из уравнений равновесия сил и моментов сил, действующих на ферму в целом; таких уравнений будет три:

$$\left. \begin{aligned} \sum P_x + \sum R_x &= 0 \\ \sum P_y + \sum R_y &= 0 \\ \sum M_p + \sum M_R &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2.9)$$

где P_x и R_x - проекции внешних сил P и реакций на ось O_x ; P_y и R_y - проекции внешних сил P и реакций на ось O_y , M_p и M_R - моменты сил P и реакций R относительно какой-либо точки на плоскости.

Система трех уравнений (2.9) однозначно определяет три неизвестные реакции связей. Для определения реакций связей условия (2.9) являются общими, так как они дают возможность установить внешнюю статическую определимость независимо от того, рассчитывается ли простейшая ферма или ферма с лишними связями.

Если число связей, соединяющих ферму с фундаментом, больше трех, то уравнений (2.9) становится недостаточно; такая ферма называется внешне

статически неопределимой, и для определения реакций связей требуются дополнительные условия по числу лишних связей. Когда имеет место один из двух исключительных случаев, рассмотренных выше, то в зависимости от направления равнодействующей внешних сил уравнения (2.9) дадут либо неопределенные, либо бесконечно большие значения неизвестных реакций R или же этих уравнений окажется недостаточно для определения реакций опор. Ввиду того что при закреплении опор такие случаи практически не встречаются, они подробно здесь не рассматриваются.

Для расчета ферм требуется:

- а) установить, что ферма является геометрически неизменяемой;
- б) убедиться в том, что ферма имеет число связей с фундаментами, обеспечивающее ее жесткое закрепление;
- в) проверить статическую определимость фермы как в отношении усилий в стержнях, так и в отношении реакций опорных связей (или установить степень статической неопределимости по числу лишних неизвестных).

Отсутствие такой подготовки к расчету может привести расчетчика к ряду недоразумений.

Как указывалось выше, плоские фермы, образующие грани стоек свободностоящих опор линий электропередачи, являются консольными фермами, закрепленными одним концом. Исключение составляют грани траверс порталных опор, представляющих собой консольно-балочные фермы. Как правило, грани конструкций опор имеют одинаково наклоненные к оси пояса, т. е. расположение поясов симметрично.

Обычно применяемыми системами решеток граней опор линий электропередачи являются следующие:

- а) треугольная решетка, или решетка «елкой» (рис. 2.2, а);
- б) раскосная решетка, являющаяся частным случаем треугольной (рис. 2.2, б);
- в) перекрестная, или ромбическая, решетка (рис. 2.2, в).

Все эти системы решеток могут быть образованы путем присоединения к основному треугольнику последующих узлов с помощью двух стержней, т. е. являются простейшими системами. В перекрестной статически определимой решетке должен быть только один горизонтальный стержень - нижний или верхний (на рис. 2.2, в показан нижний).

По конструктивным условиям в решетку граней опор линий электропередачи приходится добавлять ряд дополнительных горизонтальных стержней, например в местах крепления траверс, диафрагм и пр. Используя методы строительной механики, можно показать, что при действии на опоры основных сочетаний нагрузок, определяемых нормальными режимами работы линии, усилия в этих стержнях равны нулю и, следовательно, не влияют на работу фермы. В то же время такие стержни обеспечивают передачу нагрузки от траверс, принимают участие в работе конструкции на кручение и обеспечивают необходимую жесткость конструкции. Плоские

фермы, образующие пространственную систему опор линий электропередачи, крепятся двумя связями в каждом из двух опорных узлов, т. е. всегда имеется одна лишняя связь. В настоящей главе рассматривается расчет закрепления плоской фермы только тремя связями, показанными на рис. 2.2.

Все внешние нагрузки на опоры линий электропередачи приводятся к следующим воздействиям:

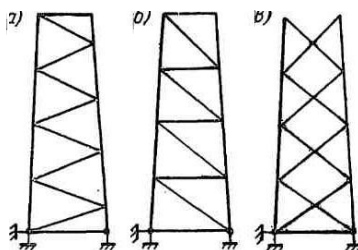


Рисунок 2.2 – Различные схемы решеток плоских ферм

- а) поперечным горизонтальным сосредоточенным силам;
- б) поперечной горизонтальной распределенной нагрузке от давления ветра на конструкцию опоры; в) изгибающий паре сил, момент которой действует в вертикальной плоскости (например, от неуравновешенного веса провода при треугольном расположении проводов на опоре);
- г) вертикальным сосредоточенным нагрузкам от веса проводов, тросов и собственного веса опоры,
- д) изгибающим моментам от вертикальной нагрузки, возникающим при отклонении опоры от вертикального положения;
- е) паре сил, момент которой действует в горизонтальной плоскости (так называемый крутящий момент), от неуравновешенного тяжения проводов.

В общем случае поперечные нагрузки могут иметь различные направления и для удобства расчета обычно приводятся к двум составляющим, действующим во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, одна из которых ориентирована поперек линии (для угловых опор по биссектрисе внутреннего угла поворота линии).

При расчете стержневых систем предполагается, что все нагрузки, действующие на систему; приложены в ее узлах. Если в действительности нагрузка приложена к стержню между узлами, То такой стержень, изгибаясь, передаст нагрузку в узлы и вся система будет работать как нагруженная в узлах, за исключением самого изгибаемого стержня, который будет работать на сжатие и изгиб и должен рассчитываться как сжато-изогнутый.

Распределенную нагрузку от ветра на конструкцию разносят по узлам до начала расчета, при этом изгибающими моментами от нее, действующими в стержнях между узлами, пренебрегают, вследствие их малости.

Вертикальные сосредоточенные и распределенные нагрузки на опору создают также дополнительный изгибающий момент. Этот момент вызывает

дополнительные усилия в раскосах и поясах опоры. Что касается вертикальной сжимающей нагрузки, то вследствие относительно малого наклона поясов к вертикали можно считать, что она создает усилия только в поясах.

Так как главными нагрузками для металлических опор являются горизонтальные силы, изгибающие пары сил и крутящие моменты, от которых усилия в элементах опоры составляют 80-90 % суммарных усилий, дальнейшее изложение будет посвящено преимущественно определению усилий от этих воздействий.

Ниже рассматриваются основные способы определения усилий в стержнях плоских ферм, наиболее часто применяемые при расчетах опор линий электропередачи.

Из различных способов расчета статически определимых плоских ферм наиболее употребительным является графоаналитический, при котором дополнительные построения используются для определения величин, входящих в уравнение равновесия, сами же искомые величины определяются путем решения уравнения статики, в качестве которого принимается одно из уравнений равновесия сил или моментов.

В основу графоаналитического расчета фермы положен известный в статике сооружений метод сечений. Если ферма находится в равновесии, то все ее узлы или часть фермы под действием нагрузок и реакций со стороны соседних частей также находятся в равновесии.

Рассмотрим ферму, показанную на рис. 2.3. Для определения усилий в раскосе, например D_4 , рассечем ферму по линии а-а, которая пересекает два пояса и раскос D_4 . В сечении каждого стержня приложены неизвестные нам пока усилия, при этом все усилия в рассматриваемом сечении будем считать растягивающими, направляя их от узла. Для определения усилия в раскосе D_4 выберем моментную точку O на пересечении поясов и из чертежа определим величины a и d_4 . Составляя уравнение моментов всех сил относительно точки O , найдем:

$$P_a + D_4 d_4 = 0. \quad (2.10)$$

Откуда непосредственно получим

$$D_4 = -\frac{P_a}{d_4}. \quad (2.11)$$

Знак минус показывает, что действительное направление усилия в раскосе - обратное принятому, т. е. раскос не растянут, а сжат.

Если бы точка приложения силы P была выше моментной точки O (рис. 14), то уравнение моментов получило бы вид:

$$-P_a + D_4 d_4 = 0; D_4 = +\frac{P_a}{d_4}, \quad (2.12)$$

т. е. в данном случае действительное направление усилия раскоса соответствует принятому.

Возвращаясь к случаю, изображенному на рис. 2.3, найдем усилие в поясе Щ. Для этого составим уравнение равновесия моментов всех сил в рассечении относительно новой моментной точки,

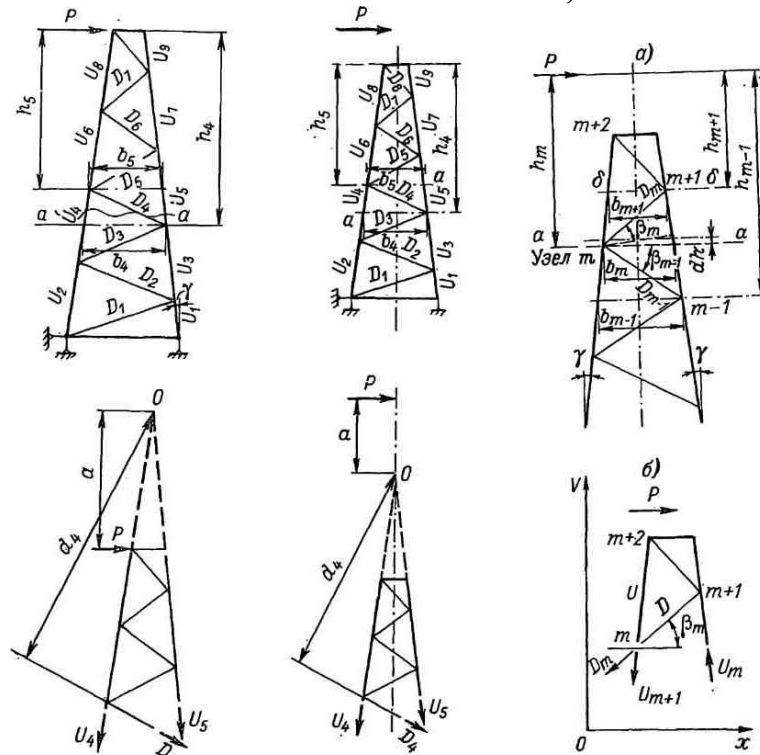


Рисунок 2.3 – Расчет ферм разными методами

за которую примем точку пересечения левого пояса фермы и раскоса D_4 .

$$Ph_5 + U_5 b_5 \cos \gamma = 0, \quad (2.13)$$

откуда найдем

$$U_5 = -\frac{Ph_5}{b_5 \cos \gamma}. \quad (2.14)$$

Знак минус показывает, что усилие в поясе фактически направлено в сторону, обратную направлению, принятому при составлении уравнения, т. е. в данном случае пояс сжат,

Для определения усилия в поясе U_4 составляем аналогичное уравнение моментов относительно точки пересечения правого пояса с раскосом D_4 :

$$-Ph_4 + U_4 b \cos \gamma = 0, \quad (2.15)$$

и, следовательно

$$U_4 = + \frac{Ph_4}{b_4 \cos \gamma}, \quad (2.16)$$

т. е. направление усилия соответствует принятому и пояс растянут.

Как указывалось выше, грани свободностоящих башенных опор линий электропередачи представляют собой плоские консольные фермы, имеющие очертание равнобедренной трапеции и одинаковое сечение правого и левого поясов. Это позволяет получить простые и удобные формулы для непосредственного определения усилия в стержнях таких ферм.

Рассмотрим расчет фермы с треугольной решеткой под действием горизонтальной силы P (рис.2.3, а). Примем за положительное направление для силы P - слева направо, а для изгибающего момента $M = Ph$ - по часовой стрелке и рассмотрим равновесие части фермы, отсеченной горизонтальной линией, проходящей выше узла m на расстоянии dh . Отсеченная часть будет уравновешена системой сил P, U_m, U_{m+1}, D_m (рис. 14, б). На рисунке направление сил принято действительное на основании проверки по методу сечения.

Для усилий в поясах, применяя метод сечений, получим:

$$\left. \begin{aligned} U_m &= \frac{Ph_m}{b_m \cos \gamma}; \\ U_{m+1} &= \frac{Ph_{m+1}}{b_{m+1} \cos \gamma} \end{aligned} \right\}. \quad (2.17)$$

Проектируя на ось O_x все силы, действующие на отсеченную часть, получим следующее уравнение равновесия:

$$P - D_m \cos \beta_m - U_{m+1} \sin \gamma - U_m \sin \gamma = 0. \quad (2.18)$$

Решая (2.17) и (2.18) совместно, после ряда преобразований, которые здесь не приводятся, получим следующее выражение для усилия в раскосе D_m , восходящем от узла m :

$$D_m = P \frac{1 - 2 \frac{h_m}{b_m} \operatorname{tg} \gamma}{\cos(\beta_m + \gamma)}. \quad (2.19)$$

Следует отметить, что в формулах с (2.17) по (2.30) через P обозначена сила, действующая в одной грани опоры. Если P обозначает силу, действующую на всю опору и распределяющуюся на две грани ее ствола, то в указанные формулы вместо P надо подставлять $P/2$.

Рассекая ферму на расстоянии dh ниже узла m и рассуждая аналогично, получим усилие в раскосе D_{m-1} , нисходящем от узла m :

$$D_{m-1} = P \frac{1 - 2 \frac{h_m}{b_m} \operatorname{tg} \gamma}{\cos(\beta_{m-1} - \gamma)} \cos \gamma. \quad (2.20)$$

Раскос D_{m-1} сжат.

Для установления направления усилий при пользовании формулами (2.17), (2.19) и (2.20) применяется следующее правило.

Если нагрузка P направлена слева направо, то все усилия в левом поясе будут растягивающими, а в правом - сжимающими, все раскосы D_m , восходящие от узлов пересечения их с левым поясом, будут растянутыми, а нисходящие D_{m-1} - сжатыми. При противоположном направлении нагрузки P знаки усилий меняются на обратные.

Так как нагрузка на опоры знакопеременная, то усилия для подбора сечения раскосов в гранях свободностоящих опор нужно всегда принимать сжимающими.

Если на грань опоры действуют система горизонтальных сил P и пары сил M_e , то усилия в поясах опоры с треугольной решеткой будут определяться по формуле:

$$U_m = \frac{\sum M}{b_m \cos \gamma}, \quad (2.21)$$

а в раскосах - по формулам:

$$D_m = \frac{\sum P - \frac{2 \sum M}{b_m} \operatorname{tg} \gamma}{\cos(\beta_m + \gamma)} \cos \gamma; \quad (2.22)$$

$$D_{m-1} = \frac{\sum P - \frac{2 \sum M}{b_m} \operatorname{tg} \gamma}{\cos(\beta_{m-1} - \gamma)}. \quad (2.23)$$

В этих формулах $\sum M = \sum Ph + \sum M_e$ - сумма моментов всех сил и всех пар сил относительно узла m ; $\sum P$ - сумма сил, действующих в узле m и выше его.

При составлении сумм по-прежнему за положительное принимаем направление силы слева направо, а момента - по часовой стрелке.

При вычислении усилий в раскосах по формулам (2.22) и (2.23) величины D_m и D_{m-1} могут оказаться отрицательными; это означает, что раскос D_m стал сжатым, а раскос D_{m-1} - растянутым.

Для расчета раскосной решетки (рис. 2.4) могут быть использованы формулы, выведенные для расчета треугольной решетки, при этом распорку следует рассматривать как нисходящий раскос с углом $\beta_{m-1} = 0$; в этом случае, учитывая, что $\cos(-\gamma) = \cos \gamma$, из формулы (7-9) получим усилие в распорке:

$$C_m = \sum P - \frac{2 \sum M}{b_m} \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.24)$$

На стальных мачтовых опорах применяется в основном перекрестная (ромбическая) решетка (рис. 2.4, а). Как нетрудно проверить, при наличии связи между опорными узлами (на чертеже показана штрихами) ферма является один раз внутренне статически неопределимой. Для расчета фермы с такой решеткой нужно или отбросить верхний горизонтальный стержень, распределив поровну горизонтальную нагрузку P между узлами, или отбросить нижний стержень между опорами, считая при этом, что горизонтальные реакции опорных точек одинаковы.

Для расчета применим второй прием. При условии симметрии расположения поясов относительно вертикальной оси грани усилия в противоположных панелях поясов фермы будут одинаковы по значению и противоположны по направлению (знаку).

Если на ферму с перекрестной решеткой действует система горизонтальных сил P и пар сил M_e , то усилия будут определяться по формулам

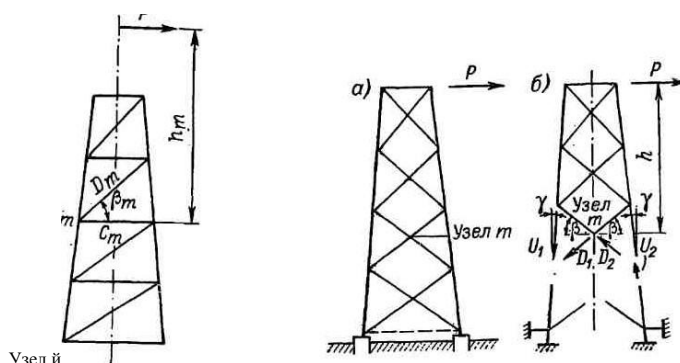


Рисунок 2.4 – Расчетная схема для определения усилий в ферме с разными типами решетки.

Рассекая ферму, как указано на рис. 16, б, через узел m пересечения раскосов и прикладывая в местах расчленения стержней, действующие в них усилия, составим три уравнения статики:

$$\begin{aligned}\sum X &= -U_1 \sin \gamma - U_2 \sin \gamma - D_1 \cos \beta - D_2 \cos \beta + P = 0; \\ \sum Y &= -U_1 \cos \gamma - U_2 \cos \gamma - D_1 \sin \beta - D_2 \sin \beta + Ph = 0; \\ \sum M_m &= -U_1 \frac{b_m}{2} \cos \gamma - U_2 \frac{b_m}{2} \cos \gamma + Ph = 0.\end{aligned}\quad (2.25)$$

Решая данную систему уравнений найдем:

$$U_1 = U_2 = U_m; \quad D_1 = D_2 = D_m. \quad (2.26)$$

При этом величины U_m и D_m будут определяться выражениями:

$$U_m = \frac{Ph_m}{b_m \cos \gamma}; \quad (2.27)$$

$$D_m = P \frac{1 - \frac{2h_m}{b_m} \operatorname{tg} \gamma}{2 \cos \beta_m}. \quad (2.28)$$

Правило знаков, установленное для опоры с треугольной решеткой, справедливо и для расчета опор с другими рассмотренными решетками.

При одностороннем обрыве проводов в аварийном режиме элементы ствола опоры подвергаются действию крутящего момента. Крутящий момент, передающийся с траверсы на ствол с помощью диафрагм, установленных в местах крепления траверс к стволу, нагружает все четыре грани опоры. Действие крутящего момента может быть заменено действием некоторых пар горизонтальных сил T , сумма моментов которых равна крутящему моменту.

$$\left. \begin{aligned}U_m &= \frac{\sum M}{b_m \cos \gamma} \\ D_m &= \frac{\sum P - \frac{2 \sum M}{b_m} \operatorname{tg} \gamma}{2 \cos \beta_m}\end{aligned} \right\}, \quad (2.29)$$

где $\sum P$ и $\sum M$ определяются так же, как и при расчете опор с треугольной решеткой

На рис. 2.5, а показана пространственная конструкция с треугольной решеткой, имеющая форму усеченного обелиска. В верхнем основании конструкции действует крутящий момент $M_{кр}$.

Заменим момент $M_{кр}$ двумя парами сил T_1 и T_2 (рис. 2.5, б); для этого необходимо, чтобы соблюдалось равенство:

$$T_1 b_1 + T_2 b_2 = M_{кр}. \quad (2.30)$$

В результате рассмотрения равновесия опоры под действием крутящего момента и опорных реакций для определения величин T_1 и T_2 получены следующие расчетные формулы:

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{M_{кр}}{b_1 \left(1 + \frac{b_2}{b_1} - \frac{a_1}{a_2}\right)}; \\ T_2 &= \frac{M_{кр}}{b_2 \left(1 + \frac{b_1}{b_2} - \frac{a_2}{a_1}\right)} \end{aligned} \right\}. \quad (2.31)$$

Если ферма призматическая, т. е. имеет параллельные пояса, то формулы (2.31) преобразуются в более простые:

$$T_1 = \frac{M_{кр}}{2b_1}; \quad T_2 = \frac{M_{кр}}{2b_2}. \quad (2.32)$$

Эти формулы получаются и при наклонных гранях, но при том условии, что соблюдается пропорция:

$$b_1 / b_2 = a_2 / a_1. \quad (2.33)$$

В большинстве случаев равенство (2.33) приблизительно соблюдается, поэтому для расчета опор практически применяют формулы (2.32)

Усилие в раскосах в зависимости от схемы решетки определяется по одной из приведенных выше формул, в которых вместо силы P подставляются силы T_1 или T_2 (см. рис. 2.5, в).

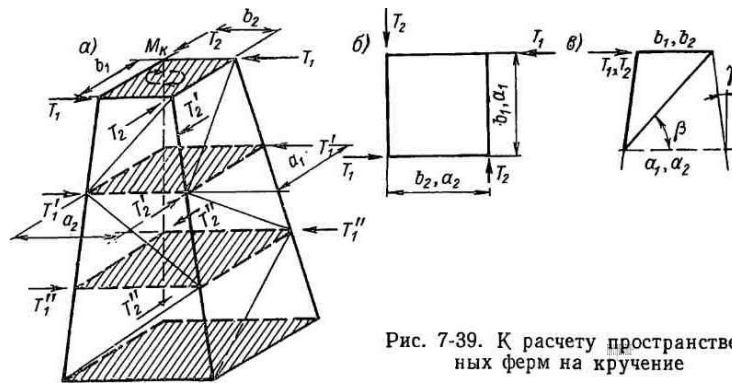


Рис. 7-39. К расчету пространственных ферм на кручение

Рисунок 2.5 – Расчет пространственных ферм на кручение.

2.3 Расчет растяжек на стальных опорах

Расчетная схема портальной опоры на растяжках дана на рис. 18. Опоры этого типа относятся к так называемым вантовым конструкциям, в которых нагрузки вызывают в основном растягивающие или сжимающие усилия, воспринимаемые четко разграниченными элементами.

В сжатых элементах таких опор могут возникать изгибающие моменты, например, от ветровой нагрузки на стойки или от тяжения грозозащитного троса при одностороннем обрыве, но в правильно сконструированной опоре изгибающие моменты сравнительно невелики и не являются решающим для расчета конструкции опор.

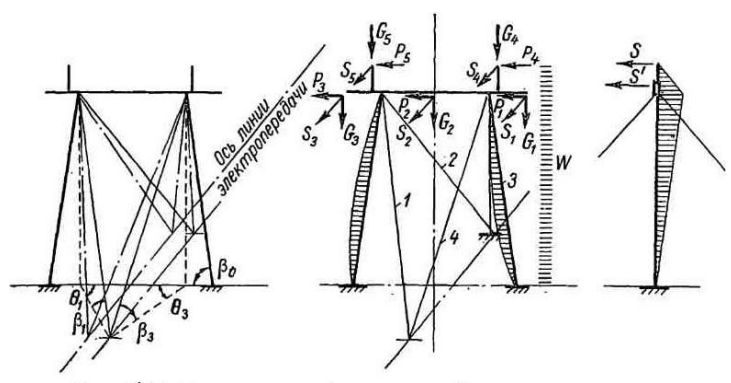


Рисунок 2.6 – Расчетная схема портальной опоры на растяжках

Рассмотрим расчет портальной опоры под действием комбинации внешних сил, схема которых отвечает самому общему случаю нагружения опоры.

Как видно из расчетной схемы опоры, верхние концы оттяжек закреплены в центрах узлов соединения стойки с траверсой. Нижние концы растяжек могут быть смещены с оси, проходящей через центр опоры и перпендикулярной ее плоскости, что обычно выполняется на угловых опорах.

Таким образом, схема опоры на рисунке 18 является общей для группы порталных опор на растяжках. Нагрузки, действующие на опору, в общем случае могут быть приведены к следующей системе сил

а) горизонтальной силе P , приведенной к высоте оси траверсы и действующей вдоль этой оси;

б) горизонтальной силе S , приложенной к траверсе на высоте ее оси и действующей перпендикулярно этой оси в плоскости симметрии опоры;

в) паре сил R , приложенных в верхних узлах опоры, действующей в горизонтальной плоскости портала

г) паре сил V , приложенных в верхних узлах опоры, действующей в плоскости портала;

д) вертикальной силе G от веса тросов и собственного веса конструкции, действующей вдоль оси симметрии опоры.

Все перечисленные силы можно свести к узловым нагрузкам, состоящим из вертикальных и горизонтальных сил, приложенных в узлах 1 и 2.

Разрезав траверсу опоры между узлами, заменим ее действие в узлах 1 и 2 соответствующими силами: распором X , действующим вдоль оси траверсы, и изгибающим моментом M_x , вектор которого направлен также вдоль этой оси. Реакции M_y и Z в данном случае в сечении (разрезе) отсутствуют, так как стойки соединены с траверсой цилиндрическим шарниром, не воспринимающим этих реакций. Реакциями M_z и Y в сечении можно пренебречь, ибо при малом наклоне к вертикали и шарнирном опирании стяжек на фундаменты эти реакции практически равны нулю.

Схема сил, действующих в узлах 1 и 2, приведена на рис.2.7, на котором обозначены: усилия в оттяжках T_1 , T_2 , T_3 и T_4 , усилия в стойках N_1 и N_{11} .

Ввиду того что по конструктивным условиям цилиндрические шарниры, соединяющие траверсу со стойками, имеют большие затворы, момент M_x не должен учитываться как фактор, разгружающий элементы опоры. Предлагаемый ниже метод расчета, в котором определяются усилия в растяжках и нормальные усилия в стойках, дается без учета момента M_x . Для расчета прочности траверсы и стоек влияние момента M_x должно быть учтено наряду с изгибающими моментами от давления ветра и тяжения тросов, о которых сказано выше. Формула для определения момента M_x дается ниже.

Составляя условия равенства моментов проекций всех сил относительно координатных осей, начало которых совмещено с точками опирания стоек на фундаменты, для каждой части опоры получим по два уравнения (в данном случае моменты проекций сил относительно оси O_x дают тождественные равенства). Исключив затем из этих уравнений распор X , получим систему следующих трех уравнений, в которые в качестве неизвестных входят только усилия в растяжках:

$$\left. \begin{aligned} (T_2 - T_1) \cos \beta_1 \sin \theta_1 - \left(\frac{S}{2} + R \right) &= 0 \\ (T_3 - T_4) \cos \beta_3 \sin \theta_4 - \left(\frac{S}{2} + R \right) &= 0 \\ (T_2 + T_1) \vartheta_1 \cos \beta_1 \sin \theta_1 - (T_3 + T_4) \vartheta_3 \cos \beta_3 \sin \theta_3 + \frac{2V}{\operatorname{tg} \beta_0} - P &= 0 \end{aligned} \right\}; \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} \vartheta_1 &= 1 + \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_0 \cos \theta_1} \\ \vartheta_3 &= 1 + \frac{\operatorname{tg} \beta_3}{\operatorname{tg} \beta_0 \cos \theta_3} \end{aligned} \quad (2.35)$$

Система (2.34) состоит из трех уравнений, содержащих четыре неизвестных усилия (натяжения) в растяжках. Таким образом, любые из усилий в трех растяжках могут быть определены только через усилие в четвертой. Для правильного выбора этой четвертой растяжки рассмотрим работу растяжек опоры под нагрузкой.

Растяжки представляют собой гибкие нити, которые могут воспринимать только растягивающие усилия. Для обеспечения необходимой жесткости опоры ее растяжки предварительно натягиваются некоторым монтажным натяжением T_0 . При действии нагрузок на опору, в общем случае представляющих собой рассматриваемую нами систему сил, узлы крепления растяжек начнут перемещаться в горизонтальной плоскости (перемещением в вертикальной плоскости вследствие большой относительной жесткости стоек можно пренебречь). При этом перемещении пролет (расстояние между точками крепления к опоре и анкеру) по крайней мере одной из растяжек будет сокращаться, а пролеты остальных – увеличиваться. Растяжки с возрастающими пролетами будут натягиваться, обеспечивая устойчивость опоры под нагрузкой.

Натяжение растяжки, пролет которой сокращается, уменьшается нулю. Так как растяжка весома, то натяжение в ней в зависимости от ее длины и веса получит малое, но конечное значение, которое можно выразить равенством:

$$T_{ост} = \kappa T_0, \quad (2.36)$$

где $T_{ост}$ – остаточное натяжение в ослабляющейся растяжке; κ – некоторый коэффициент, меньший единицы.

Если значение κ может быть определено или задано с известным приближением, то значение $T_{ост}$ может считаться известным.

Задавая последовательно усилия в оттяжках T_1, T_2, T_3 и T_4 равными остаточному $T_{ост} = \kappa T_0$, получим однозначно усилия в остальных растяжках из системы (2.34).

Для расчета опоры с симметричным расположением растяжек, при котором $\beta_1 = \beta_3 = \beta; \theta_1 = \theta_2 = \theta$ и, следовательно, $\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta$, система уравнений (25) получает вид:

$$\left. \begin{aligned} (T_2 - T_1) \cos \beta \sin \theta - \left(\frac{S}{2} + R \right) &= 0 \\ (T_3 - T_4) \cos \beta \sin \theta - \left(\frac{S}{2} + R \right) &= 0 \\ (T_2 + T_1) \vartheta \cos \beta \sin \theta - (T_3 + T_4) \vartheta \cos \beta \sin \theta + \frac{2V}{\operatorname{tg} \beta_0} - P &= 0 \end{aligned} \right\} . \quad (2.37)$$

Решая систему (2.37) найдем:
при $T_1 = T_{ост} = \kappa T_0$

$$\left. \begin{aligned} T_2 &= \left(\frac{S}{2} + R \right) f_2 + \kappa T_0 \\ T_3 &= \frac{1}{2} (S f_2 - P f_1 + 2V f_3) + \kappa T_0 \\ T_4 &= \frac{1}{2} (2R f_2 - P f_1 + 2V f_3) + \kappa T_0 \end{aligned} \right\} ; \quad (2.38)$$

при $T_2 = T_{ост} = \kappa T_0$

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= -\left(\frac{S}{2} + R \right) f_2 + \kappa T_0 \\ T_3 &= \frac{1}{2} (-2R f_2 - P f_1 + 2V f_3) + \kappa T_0 \\ T_4 &= \frac{1}{2} (-S f_2 - P f_1 + 2V f_3) + \kappa T_0 \end{aligned} \right\} ; \quad (2.39)$$

при $T_3 = T_{ост} = \kappa T_0$

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{2}(-Sf_2 + Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0 \\ T_3 &= \frac{1}{2}(2Rf_2 + Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0 \\ T_4 &= -\left(\frac{S}{2} - R\right)f_2 + \kappa T_0 \end{aligned} \right\}; \quad (2.40)$$

при $T_4 = T_{осм} = \kappa T_0$

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{2}(-2Rf_2 + Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0 \\ T_3 &= \frac{1}{2}(Sf_2 + Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0 \\ T_4 &= \left(\frac{S}{2} - R\right)f_2 + \kappa T_0 \end{aligned} \right\}; \quad (2.41)$$

в этих формулах обозначено:

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{1}{\vartheta \cos \beta \cos \theta} \\ f_2 &= \frac{1}{\cos \beta \sin \theta} \\ f_3 &= \frac{f_1}{\operatorname{tg} \beta_0} = \frac{1}{\vartheta \operatorname{tg} \beta_0 \cos \beta \cos \theta} \end{aligned} \right\}. \quad (2.42)$$

Расчет промежуточных порталных опор производится по следующим схемам:

При ветре, перпендикулярном к оси линии:

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{2}(Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0. \quad (2.43)$$

При ветре, направленном под углом 45° :

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{2}(Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0 \\ T_2 &= \frac{1}{2}(Sf_2 + Pf_1 - 2Vf_3) + \kappa T_0 \\ T_4 &= \frac{1}{2}Sf_2 + \kappa T_0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.44)$$

2.4 Расчет сталеалюминиевых канатов

Сталеалюминиевые канаты состоят из двух металлов – алюминия и стали, имеющих различную прочность, модули упругости и коэффициенты температурного расширения. В результате свивки стальных и алюминиевых проволок канат работает как одно целое и имеет определенные значения прочности на разрыв, модуля упругости и коэффициента температурного расширения, характеризующие провод в целом.

Суммарное растягивающее усилие распределяется на стальную и алюминиевую части каната в зависимости от отношения площадей сечения и модулей упругости двух металлов, соответствующие формулы приводятся в технической литературе. Произведенные исследования сталеалюминиевых канатов показали, что фактическое распределение растягивающего усилия на стальную и алюминиевую части каната не соответствует классической теории распределения. Известно, что сталеалюминиевые канаты выдерживают усилия до 70% прочности каната в целом, которые по классической теории должны были бы приводить к выводу из строя алюминиевой части, а их разрушение наступает при напряжении в стальном сердечнике, соответствующем его 1%-ному удлинению. Это объясняется тем, что при увеличении нагрузки алюминиевая часть воспринимает меньшую долю усилия, а стальная – большую долю, чем получаемые по теоретическому распределению. Поэтому правильнее рассчитывать сталеалюминиевый канат по его сечению в целом и определять напряжения так же, как в монометаллических канатах, т. е. путем деления растягивающего усилия T на суммарное сечение провода F

$$\delta = \frac{T}{F}. \quad (2.45)$$

Получаемые напряжения называются фиктивными, так как фактические напряжения в алюминии и стали различны. Однако это обстоятельство не оказывает никакого влияния на точность расчетов.

Модуль упругости сталеалюминиевого каната в целом E должен быть больше модуля упругости алюминия E_a и меньше модуля упругости стали E_c

$$E_a < E < E_c. \quad (2.46)$$

Значение модуля будет зависеть от соотношения сечений алюминия F_a и стали F_c , а также от соотношения модулей E_a и E_c . Из условия равенства относительных удлинений каната в целом и его стальной и алюминиевой частей после несложных преобразований получаем

$$E = E_c \frac{1 + km}{1 + k}, \quad (2.47)$$

где $k = F_a / F_c, m = E_a / E_c$

Вывод формулы (2.47) приводится в технической литературе конструкциях сталеалюминовых канатов одной марки значения K несколько отличаются от усредненного значения. Однако колебания K незначительны; поэтому в расчетах сталеалюминовых канатов надо пользоваться нормированными усредненными значениями, а не выводить эти значения по формуле (2.47). Формулу (2.47) следует применять только для определения значений модуля упругости проводов новых конструкций.

Температурный коэффициент линейного расширения каната в целом определяется по формуле:

$$\alpha = \alpha_c \frac{1 + kmn}{1 + km}, \quad (2.48)$$

где $n = \alpha_a / \alpha_c$.

В расчетах сталеалюминовых канатов следует учитывать значения трех критических пролетов.

$$l_{1K} = \frac{\alpha_-}{\gamma_1} \sqrt{\frac{\alpha E(t_{\text{э}} - t_-) - (\delta_- - \delta_{\text{э}})}{\frac{E}{24} [(\delta_- / \delta_{\text{э}})^2 - 1]}} = \frac{5,55\delta_D}{\gamma_1} = \sqrt{\frac{\alpha E(t_{\text{э}} - t_-) - 0,2\delta_D}{E}}; \quad (2.49)$$

$$l_{3K} = \frac{\alpha_-}{\gamma_1} \sqrt{\frac{(\delta_r - \delta_{\text{э}}) + \alpha E(t_r - t_-)}{\frac{E}{24} \left[\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_1}\right)^2 - \left(\frac{\delta_r}{\delta_{\text{э}}}\right)^2 \right]}} = \frac{4,9\delta_D}{\gamma_1} = \sqrt{\frac{0,25\delta_D + \alpha E(t_r - t_{\text{э}})}{E \left[\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_1}\right)^2 - 1,78 \right]}}. \quad (2.50)$$

Для сталеалюминовых канатов сечением 120 мм^2 и выше, а также для канатов сечением 95 мм^2 с многопроволочным сердечником при $\delta_r = \delta_- = \delta_D = 0,45\delta_B; \delta_{\text{э}} = 0,30\delta_B$

$$l_{1K} = \frac{4,38\delta_D}{\gamma_1} \sqrt{\frac{\alpha E(t_{\text{э}} - t_-) - 0,333\delta_D}{E}}; \quad (2.51)$$

$$l_{3K} = \frac{4,9\delta_D}{\gamma_1} \sqrt{\frac{0,333\delta_D - \alpha E(t_r - t_{\text{э}})}{E [(\gamma_r / \gamma_1)^2 - 2,95]}}. \quad (2.51)$$

Формулы (2.49) и (2.50) с буквенными обозначениями разностей $\delta_- - \delta_{\text{э}}$ и $\delta_r - \delta_{\text{э}}$ в подкоренных выражениях действительны при любых

соотношениях этих величин. Выражения (2.51) и (2.52), с заменой разностей и отношений δ_r , δ_- , и δ_\varnothing числами, действительны только при определенных значениях этих величин.

Уравнение состояния для расчетов каната с учетом трех критических пролетов, расположенных согласно рис. 2.8а, будет иметь следующий вид:

для пролетов $l < l_{1K}$

$$\delta - \frac{\gamma^2 E l^2}{24 \delta_-^2} = \delta_- - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24 \delta_-^2} - \alpha E (t - t_-); \quad (2.53)$$

для пролетов $l_{1K} < l < l_{3K}$

$$\delta - \frac{\gamma^2 E l^2}{24 \delta_\varnothing^2} = \delta_\varnothing - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24 \delta_\varnothing^2} - \alpha E (t - t_\varnothing); \quad (2.54)$$

для пролетов $l > l_{3K}$

$$\delta - \frac{\gamma^2 E l^2}{24 \delta_r^2} = \delta_r - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24 \delta_r^2} - \alpha E (t - t_r); \quad (2.55)$$

Отметим, что в рассматриваемом случае второй критический пролет потерял свое значение для расчета провода и поэтому является фиктивным. Однако соотношение критических пролетов, при котором $l_{1K} < l < l_{3K}$, является лишь одним из возможных случаев, встречающихся в расчетах сталеалюминевых канатов.

Таблица 2.1 – Исходные условия в расчетах сталеалюминевых проводов.

Случай	Соотношение пролетов	Исходные напряжения	Расчетный критический пролет
1	$l_{1K} < l_{2K} < l_{3K}$	$\delta_-, \delta_\varnothing, \delta_r$	l_{1K}, l_{3K}
2	$l_{1K} > l_{2K} > l_{3K}$	δ_-, δ_r	l_{2K}
3	l_{1K} мнимый, $l_{2K} < l_{3K}$	$\delta_\varnothing, \delta_r$	l_{3K}
4	l_{3K} мнимый или имеет очень большое значение, $l_{1K} > l_{2K}$	$\delta_-, \delta_\varnothing$	l_{1K}

Для облегчения выбора исходных условий в расчетах сталеалюминевых проводов возможные случаи сведены в таблице 2.1

В четвертом случае, показанном на рисунке 19 г, правая ветвь кривой δ_3 не пересекается с прямой АВ, если пролет $l_{3к}$ мнимый, или лежит за пределами расчетного диапазона пролетов, если значение очень велико. В этом случае следует учитывать только пролет $l_{1к}$ и вести расчет для пролетов $l < l_{1к}$ по уравнению (2.21), а для пролетов $l < l_{1к}$ по уравнению (2.55).

Следует отметить, что повышение напряжения δ_3 с ранее нормированного значения $0,25\delta_B$ до $0,30\delta_B$ привело к тому, что основная часть расчетов сталеалюминиевых канатов относится ко второму случаю с расчетным критическим пролетом $M_{2к}$.

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подп.	Дата		51

3 Расчет растяжек антенно-мачтовой конструкции

3.1 Примеры расчетов стальных канатов

В расчетах монометаллических и сталеалюминевых проводов обычно принимают режимы, указанные в таблице 3.1.

Произвести расчет растяжки длиной 21 м в II районе гололедности ($c = 10$ мм) и в III ветровом районе ($q = 500$ Па) с температурами $t_{\min} = -40^\circ\text{C}$ $t_{\max} = +40^\circ\text{C}$

Таблица 3.1 – Расчетные режимы проводов

Расчетный режим	Сочетание климатических условий	Номер нагрузки
1	Провода и тросы покрыты гололедом, $t = -5^\circ\text{C}$, скоростной напор ветра $0,25q$	7
2	Провода и тросы покрыты гололедом, $t = -5^\circ\text{C}$, ветра нет (0)	3
3		6
4	Скоростной напор ветра q , $t = -5^\circ\text{C}$, гололеда нет	1
5	Среднегодовая температура, ветра и гололеда нет $t = +15^\circ\text{C}$, ветра и гололеда нет	1
6	Низшая температура ветра и гололеда нет	1
7	Максимальная температура макс, ветра и гололеда нет	1

Диаметр провода $d = 14$ мм, сечение $F = 117$ мм², $m = 0,321$ кг. Допускаемое напряжение $\delta_d = 0,45 \cdot 160 = 72$ МПа $E = 6,3 \cdot 10^4$ МПа; $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$.

Определяем удельные нагрузки:

$$\gamma_1 = 2,75 \cdot 10^{-3};$$

$$p_2 = 0,9\pi c(d + c) \cdot 10^{-3} = 0,9 \cdot 3,14 \cdot 10(10 + 14) \cdot 10^{-3} = 6,8 \text{ (Н / м)};$$

$$p_3 = p_1 + p_2 = 3,21 + 6,8 = 10,01 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_3 = \frac{10,01}{117} = 8,55 \cdot 10^{-3};$$

$$p_4 = \alpha C_x q d \cdot 10^3 = 0,783 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,66 \text{ Н/м};$$

$$p_5 = \alpha C_x 0,25 q (d + 2c) \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 1,2 \cdot 12,5 (14 + 2 \cdot 10) \cdot 10^{-3} = 0,57 \text{ Н/м};$$

$$p_6 = \sqrt{p_1^2 + p_4^2} = \sqrt{0,321^2 + 0,66^2} = 0,73 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_6 = \frac{0,73}{117} = 6,25 \cdot 10^{-3};$$

$$p_7 = \sqrt{p_3^2 + p_5^2} = \sqrt{1,001^2 + 0,57^2} = 1,15 \text{ Н/м}.$$

Найдем значение второго критического пролета.

$$l_{2к} = 4,9 \cdot 7,2 \sqrt{\frac{23 \cdot 10^{-6} (-5 + 40)}{(9,84^2 - 2,75_2) \cdot 10^{-6}}} = 106 \text{ м}.$$

Так как заданный пролет больше критического, то расчет следует вести по уравнению (3)

Режим 1 является исходным

$$\delta = \delta_D = 7,2 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 2

$$\delta - \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24 \delta^2} = \delta_D - \frac{\gamma_7^2 E l^2}{24 \delta_D^2} - \alpha E (t - t_r);$$

$$\delta - \frac{8,55^2 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 150^2}{24 \delta^2} = 7,2 - \frac{9,84^2 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 150^2}{24 \cdot 7,2^2} - 23 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 10^{-3} [-5 - (-5)]$$

$$\delta - \frac{433}{\delta^2} = 7,2 - 11,0 - 0;$$

$$\delta^2 (\delta + 3,8) = 422;$$

$$\delta = 6,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 3

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист 53
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\delta - \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24\delta^2} = \delta_{Д} - \frac{\gamma_7^2 E l^2}{24\delta_{Д}^2} - \alpha E(t - t_r);$$

$$\delta - \frac{6,25^2 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 150^3}{24\delta^2} = -3,8;$$

$$\delta^2(\delta + 3,8) = 230;$$

$$\delta = 5,08 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 4

$$\delta - \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24\delta^2} = \delta_{Д} - \frac{\gamma_7^2 E l^2}{24\delta_{Д}^2} - \alpha E(t - t_r);$$

$$\delta - \frac{2,75^2 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 150^2}{24\delta^2} = -7,2 - 11,0 - 23 \cdot 10^{-6} \cdot 6,3 \cdot 10^3 [0 - (-5)];$$

$$\delta - \frac{44,8}{\delta^2} = 7,2 - 11,0 - 0,73 = -4,53;$$

$$\delta^2(\delta + 4,53) = 44,8;$$

$$\delta = 2,52 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 5

$$\delta - \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24\delta^2} = \delta_{Д} - \frac{\gamma_7^2 E l^2}{24\delta_{Д}^2} - \alpha E(t - t_r);$$

$$\delta - \frac{44,8}{\delta^2} = 7,2 - 11,0 - 0,145 [15 - (-5)] = -6,7;$$

$$\delta^2(\delta - 1,27) = 44,8;$$

$$\delta = 2,24 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 6

$$\delta - \frac{44,8}{\delta^2} = 7,2 - 11,0 - 0,145[-40 - (-5)] = 1,27;$$

$$\delta^2(\delta - 1,27) = 44,8;$$

$$\delta = 4,50 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 7

$$\delta - \frac{44,8}{\delta^2} = 7,2 - 11,0 - 0,145[40 - (-5)] = -10,32;$$

$$\delta^2(\delta + 10,32) = 44,8;$$

$$\delta = 1,91 \text{ Н/мм}^2.$$

Вычислим стрелы провеса

В режиме 2:

$$f = \frac{\gamma_3 l^2}{8\delta} = \frac{8,55 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{8 \cdot 6,5} = 3,70 \text{ м.}$$

В режиме 5:

$$f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\delta} = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{8 \cdot 2,24} = 3,45 \text{ м.}$$

В режиме 6:

$$f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\delta} = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{8 \cdot 4,50} = 1,71 \text{ м.}$$

В режиме 7:

$$f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\delta} = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{8 \cdot 1,91} = 4,03 \text{ м.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Полученное в нашем примере соотношение пролетов $l_{1K} > l_{2K} > l_{3K}$ соответствует случаю, в котором расчет ведется по пролету l_{2K} . Так как заданный пролет $200 \text{ м} > 187 \text{ м}$ то необходимо использовать уравнение (46), т. е. исходить из напряжений и нагрузок при гололеде и ветре. Отметим заранее без расчета, что напряжение при низшей температуре должно быть близким к предельному значению, допускаемому в этом режиме, так как заданный пролет отличается от критического лишь на 13 м

Режим 1 является исходным:

$$\delta = \delta_r = 13 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 2:

$$\delta - \frac{\gamma_3^2 E l^2}{24 \delta^2} = \delta_r - \frac{\gamma_7^2 E l^2}{24 \delta_r^2} - \alpha E (t - t_r);$$

$$\delta - \frac{8,63 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot 200^3}{24 \delta_2} = 13 - \frac{9,47^2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot 200^2}{24 \cdot 13^2} - 19,2 \cdot 8,25 \cdot 10^3 [-5 - (-5)];$$

$$\delta - 1025 / \delta^2 = 13 - 7,3 = 5,7; \delta^2 (\delta - 5,7) = 1025;$$

$$\delta = 12,35 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 3:

$$\delta - \frac{6,31^2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot 200^2}{24 \delta^2} = 5,7;$$

$$\delta - 547 / \delta^2 = 5,7; \delta^2 (\delta - 5,7) = 547; \delta = 10,50 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 4:

$$\delta - \frac{\lambda_1^2 E l^2}{24 \delta^2} = 5,7 - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 [0 - (-5)];$$

$$\delta - \frac{3,46 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot 200^2}{24 \delta^2} = 5,7 - 0,8;$$

$$\delta - 165 / \delta^2 = 4,9; \delta^2 (\delta - 4,9) = 165; \delta = 7,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 5:

$$\delta - 165 / \delta^2 = 5,7 - 0,758[15 - (-5)] = 2,51;$$

$$\delta^2(-2,51) = 165; \delta = 6,46 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 6:

$$\delta - 165 / \delta^2 = 5,7 - 0,158[-40 - (-5)] = 5,7 + 5,53 = 11,23;$$

$$\delta^2(\delta + 1,42) = 165; \delta = 5,04 \text{ Н/мм}^2.$$

Режим 7

$$\delta - 165 / \delta^2 = 5,7 - 0,158[40 - (-5)] = 5,7 - 7,12 = -1,42;$$

$$\delta^2(\delta + 1,42) = 165; \delta = 5,04 \text{ Н/мм}^2.$$

Вычислим стрелы провеса.

В режиме 2:

$$f = \frac{\gamma_3 l^3}{8\delta} = \frac{8,63 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 12,35} = 3,49 \text{ м.}$$

В режиме 5:

$$f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\delta} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 6,46} = 2,68 \text{ м.}$$

В режиме 6:

$$f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\delta} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 12,331} = 1,4 \text{ м.}$$

В режиме 7:

$$f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\delta} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 5,04} = 3,43 \text{ м.}$$

3.2 Пример расчета растяжек антенно-матовой конструкции

3.2.1 Нормальный режим. Ветер без гололеда, направлен перпендикулярно линии

Расчетная нагрузка, действующая вдоль оси антенны, является суммой горизонтальных сил, направленных вдоль оси антенны или приведенных к отметке антенны. Приведенными нагрузками являются:

Определяем усилия в растяжках по расчетным нагрузкам, указанным в книге Крюкова К.П. [таблица 7.21]

а) нагрузки от ветра на трос и стойки троса. Изгибающий момент от этих нагрузок относительно оси антенны заменяется моментом сил на плече b ; сами нагрузки складываются с силами, действующими вдоль антенны непосредственно;

б) нагрузки от ветра на стойки опоры. Реакция от этих нагрузок передается вдоль оси антенны; при малом угле наклона стойки к вертикали ее можно принимать равной половине давления ветра на стойку.

$$P^p = 2P_T^p + 3P_\phi^p + 2W_{TC}^p + W_{TP}^p + 2\frac{1}{2}W_C^p = 2 \cdot 312 + 3 \cdot 1070 + 2 \cdot 206 + 390,3 \cdot 2$$

$$+ \frac{1}{2}w(510 + 621 + 265) = 6,42 \text{ кН};$$

$$V^p = \frac{2 \cdot 312 \cdot 4,8 + 2 \cdot 206 \cdot \frac{4 \cdot 80}{2}}{9,60} = \frac{4,8}{9,6} (624 + 206) = 415 \text{ Н} = 0,42 \text{ кН}.$$

При ветре, направленном справа налево, остаточное натяжение будет в растяжках 3 и 4. Усилия в рабочих растяжках 1 и 2 находим по формуле (2.43):

$$T_1^p = T_2^p = \frac{1}{2}(6,42 \cdot 4,05 - 2 \cdot 0,42 \cdot 0,397) + \kappa T_0 = \frac{1}{2}(26 - 0,33)\kappa T_0 = 12,83 + \kappa T_0.$$

Растяжки выполняются из двойного стального каната диаметром 15,5 мм. Площадь поперечного сечения каната $\omega = 288 \text{ мм}^2$. Расчетное сопротивление $R = 17937 \text{ Н}$

Напряжение в растяжке

$$\delta_{\text{макс}} = \frac{12833}{288} = 44,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Монтажное натяжение в растяжке $T_0 = 1500$ Н, монтажное напряжение в растяжке:

$$\delta_0 = \frac{1500}{288} = 5,2 \text{ Н/мм}^2.$$

Погонный вес растяжки:

$$q = 2 \cdot 1,19 = 2,38 \text{ Н/м}.$$

Длина растяжки:

$$a = \frac{H + 0,2}{\sin \beta} = \frac{25,5 + 0,2}{0,937} = 27,4 \text{ м}.$$

Приведенная нагрузка на растяжку:

$$p = \frac{2,38 \cdot 0,349}{288} = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ Н/мм}^2.$$

Остаточное натяжение в растяжках 3 и 4 определяем пользуясь книгой Меркина Д.Р. «Механика гибких нитей» [Таблице 7.20].

Определим параметры:

$$m = \frac{27,4 \cdot 2,88 \cdot 10^{-3}}{5,2} = 15,2 \cdot 10^3; \quad n = \frac{5,2}{44,5} = 0,117.$$

Пользуясь книгой Меркина Д.Р. «Механика гибких нитей» находим параметр $\kappa = 0,065$ [Таблица 7.20], и, следовательно

$$T_1^P = T_2^P = 12,83 + 1,5 \cdot 0,065 = 12,83 + 0,097 \approx 13 \text{ кН};$$

$$T_3^P = T_4^P = 1,5 \cdot 0,113 \approx 0,1 \text{ кН}.$$

3.2.2 Нормальный режим. Ветер без гололеда направлен под углом 45° к оси линии

$$P^P = 2 \cdot 156 + 3 \cdot 535 + 2 \cdot 165 + 2 \cdot 390,3 + 2 \cdot \frac{1}{2} (408 + 498 + 212) = 312 + 1605 + 330 + 780,6 + 1118 = 4,5 \text{ кН};$$

$$V^P = \frac{2 \cdot 221 \cdot 4,8 + 2 \frac{165 \cdot 4 \cdot 80}{2}}{9,6} = \frac{4,8}{9,6} (442 + 165) = 0,3 \text{ кН.}$$

Вертикальная нагрузка S , действующая поперек оси антенны, складывается из ветровых нагрузок на элементы опоры:

$$S = W_{ТСХ}^P = \frac{(25,5 + 4,8 / 2) \cdot 2}{25,5} + W_{ТПХ}^P + 2 \frac{1}{2} W_{СХ}^P;$$

$$S = 2 \cdot 165 \frac{27,9}{25,5} + (564 + 564) + 2 \frac{1}{2} (408 + 498 + 212) = 361 + 1128 + 1118 = 2,61 \text{ кН.}$$

Остаточное натяжение при этой схеме нагрузок, если последние направлены в соответствии с рисунком 19, будет в растяжке 4.

Усилия в остальных растяжках определены по формулам (35)

$$T_1 = \frac{1}{2} (4,15 \cdot 4,05 - 2 \cdot 0,30 \cdot 0,397) + \kappa T_0 = \frac{1}{2} (16,8 - 0,24) + \kappa T_0 = 8,3 + \kappa T_0;$$

$$T_2 = \frac{1}{2} (2,61 \cdot 3,2 + 4,15 \cdot 4,05 - 2 \cdot 0,3 \cdot 0,397) + \kappa T_0 = \frac{1}{2} (8,35 + 16,8 - 0,24) + \kappa T_0 = 12,45 + \kappa T_0;$$

$$T_3 = \frac{1}{2} 2,61 \cdot 3,2 + \kappa T_0 = 4,18 + \kappa T_0;$$

$$\delta_{\text{макс}} = \frac{12450}{288} = 43,3 \text{ Н/мм}^2;$$

$$m = 15,2 \cdot 10^{-3}; \quad n = \frac{5,2}{48,59} = 0,107.$$

Пользуясь книгой Меркина Д.Р. «Механика гибких нитей» [таблица 7.20] $\kappa = 0,062$, и, следовательно, $\kappa T_0 = 0,062 \cdot 1,5 \approx 0,09$ кН

$$T_1 = 8,30 + 0,09 = 8,40 \text{ кН};$$

$$T_2 = 12,45 + 0,09 = 12,54 \text{ кН};$$

$$T_3 = 4,18 + 0,09 = 4,27 \text{ кН};$$

$$T_4 = 0,09 \text{ кН.}$$

3.2.3 Нормальный режим. Гололед. Ветер направлен перпендикулярно оси линии

$$P^P = 2 \cdot 358 + 3 \cdot 790 + 0,25 \left[2 \cdot 206 + 2 \cdot 390,3 + \frac{1}{2} 2(510 + 621 + 265) \right]$$

$$= 716 + 2370 + 647 = 3,73 \text{ кН;}$$

$$V^P = 0,25 \cdot 0,42 = 0,105 \text{ кН;}$$

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{2} (3,74 \cdot 4,05 - 2 \cdot 0,105 \cdot 0,397) + \kappa T_0 = \frac{1}{2} (15,1 - 0,08) + \kappa T_0 = 7,61 + \kappa T_0;$$

$$\delta_{\text{макс}} = \frac{7610}{288} = 26,4 \text{ Н/мм}^2.$$

Вес гололеда на растяжке (двойной):

$$2q_0 = 2\pi\gamma(d+c) = 2\pi \cdot 10 \cdot 0,9(15+10) \cdot 10^{-3} = 1,41 \text{ Н/м.}$$

Вес растяжки с гололедом:

$$q_r = 2,38 + 1,41 = 3,79 \text{ Н/м;}$$

$$p = \frac{3,79 \cdot 0,349}{288} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м;}$$

$$m = \frac{27,4 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3}}{5,2} = 24,2 \cdot 10^{-3}; \quad n = \frac{5,2}{26,3} = 0,198.$$

Пользуясь книгой Меркина Д.Р. «Механика гибких нитей» [таблица 7.20] $\kappa = 0,123$

$$T_1 = T_2 = 6,71 + 0,123 \cdot 1,5 = 7,51 + 0,185 = 7,7 \text{ кН;}$$

$$T_3 = T_4 = 0,123 \cdot 1,5 = 0,19 \text{ кН.}$$

Как видно из расчета, при меньшей нагрузке остаточное натяжений в разгружающейся растяжке возрастает.

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разные конструктивные элементы антенно-мачтовой конструкции могут быть изготовлены из разного металла, однако их химические и механические характеристики не должны сильно различаться. В данной работе был проведен обзор различных типов антенно-мачтовых конструкций. Были рассмотрены особенности этих конструкций, варианты эксплуатации, механические характеристики и классификации антенно-мачтовых сооружений. Была разработана методика расчета, включающая в себя расчеты усилий в стержневых конструкциях опор, расчет нагрузок в стальных и сталеалюминевых растяжках. А так же выполнен расчет растяжек антенно-мачтовой конструкции при различных режимах погодных условий.

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата		63

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Меркин Д.Р. «Механика гибких нитей», 1989г.
- 2) СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.
- 3) ГОСТ 2688-80 «Стальные канаты».
- 4)Крюков К.П. «Конструкции и механический расчет линии электропередачи», 1979г.
- 5)В.А. Светлицкий «Механика гибких стержней и нитей», 1978.
- 6) Е.П. Попов «Теория и расчет гибких упругих стержней», 1986

					БР - 15.03.03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		64