



# Антенно-мачтовые сооружения

Подготовили студенты группы  
СТ-470003:  
Калинин Дмитрий, Соловьёв  
Александр,  
Кондратьев Максим, Горбунов Кирилл

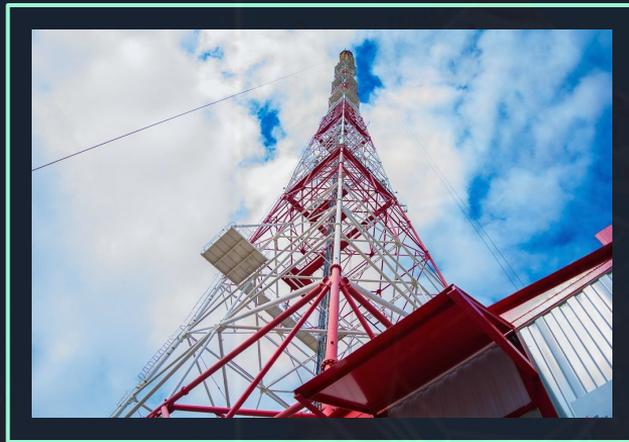
# Антенно-мачтовые сооружения



(АМС) — общее название для антенной опоры, входящей в состав оборудования площадки размещения радиоэлектронных средств (РЭС) связи.

# Назначение АМС

АМС – часть эффективно работающей телекоммуникационной сети, которая способствует развитию передовых технологий. АМС задействована в управлении сложнейшими технологическими процессами во всех отраслях экономики, таких как промышленность, связь, добыча полезных ископаемых, телемедицина, энергетика и др.



# Назначение АМС



Конструкция сооружения может иметь различную конфигурацию, предназначаться для использования в различных климатических и сейсмоопасных зонах. Проектирование таких объектов зависит от многих факторов: нагрузка с учетом количества и весогабаритных характеристик оборудования, интенсивности атмосферных явлений, климатической зоны и прочих внешних факторов.

# Виды АМС



## Башни

Это вертикальные пространственные конструкции, заземленные в основании при помощи консолей. Конструкция башни решетчатая, имеет форму призмы или усеченной пирамиды, как правило, с несколькими переломами в очертании поясов. В зависимости от способа монтажа башни могут быть как сварными секционными, так и соединенными при помощи болтовых креплений. Для обеспечения стабильного вертикального положения данных конструкций никаких дополнительных оттяжек не требуется.

# Виды АМС

Применение башен связи:

- для станций мобильной связи;
- для объектов теле- и радиовещания;
- для организации техносвязи вдоль нефтепроводов и газопроводов;
- для сооружения линий электропередач.



# Виды АМС

## Мачты

Это стержневые конструкции, установленные в вертикальном положении на фундамент и удерживаемые наклонно расположенными оттяжками (стальными канатами, закрепленными на нескольких ярусах). Используются для монтажа передающих устройств.



# Виды АМС

## Применение мачт:

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





# Виды АМС

## Преимущества мачт

- Экономичность мачт по сравнению с башнями в вопросах расхода металла и итоговой стоимости;
- Небольшая масса, соответственно, на фундамент будет меньшая нагрузка;
- Благодаря существенной протяженности ствола мачты есть возможность установки гораздо большего количества оборудования, например, антенн;
- При необходимости можно использовать конструкцию, состоящую из модулей, позволяющую достаточно легко изменять высоту путем изменения количества секций и ярусов оттяжек;
- При изготовлении мачт секции заказчику поступают в готовом виде, что существенно ускоряет и упрощает сборку конструкции;
- Если во время эксплуатации возникла потребность в усилении сооружения, то затраты на укрепление конструкции будут менее значительные и трудоемкие по сравнению с затратами на усиление башен.

# Виды АМС

## Недостатки мачт

Помимо преимуществ у мачт есть и свои недостатки. Главным из которых является ощутимо увеличенная площадь застройки, необходимая не только под саму мачту, но и под оттяжки, помогающие конструкции находиться в вертикальном положении. Помимо этого не стоит забывать о том, что в процессе эксплуатации мачт необходимо будет систематически заниматься регулировкой натяжения тросов-оттяжек



# Выбор материала для производства АМС



Современная практика строительства антенных сооружений основывается на преимущественном использовании металлов в качестве конструкционных материалов, поскольку это позволяет при сравнительно небольшой собственной массе обеспечить восприятие значительных нагрузок и относительно выполнение конструкциями технологических (радиотехнических) и строительных функций.

Металлические конструкции надежно работают при различных напряженных состояниях и наличии агрессивных эксплуатационных сред, универсальны с точки зрения создания различных конструктивных форм, обладают высокой технологичностью изготовления и монтажа



# Выбор материала для производства АМС

Наиболее востребованными марками стали для антенных сооружений являются:

- ВСтЗсп5/ВСтЗпс5 для основных элементов со сварными соединениями в мачтах и башнях, эксплуатируемых при температурах воздуха не ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
- ВСтЗкп2 для второстепенных сварных элементов мачт и башен, эксплуатируемых при температурах воздуха не ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
- 09Г2-12 для основных элементов со сварными соединениями в мачтах и башнях в «северном» исполнении ( $t \leq -40^{\circ}\text{C}$ );
- ВСтЗсп6 для второстепенных сварных элементов в «северном» исполнении, а также для основных элементов, изготавливаемых и соединяемых без сварки, в мачтах и башнях того же исполнения.

Основные показатели механических свойств стали: прочность, упругость, пластичность, склонность к хрупкому разрушению.

# Выбор материала для производства АМС

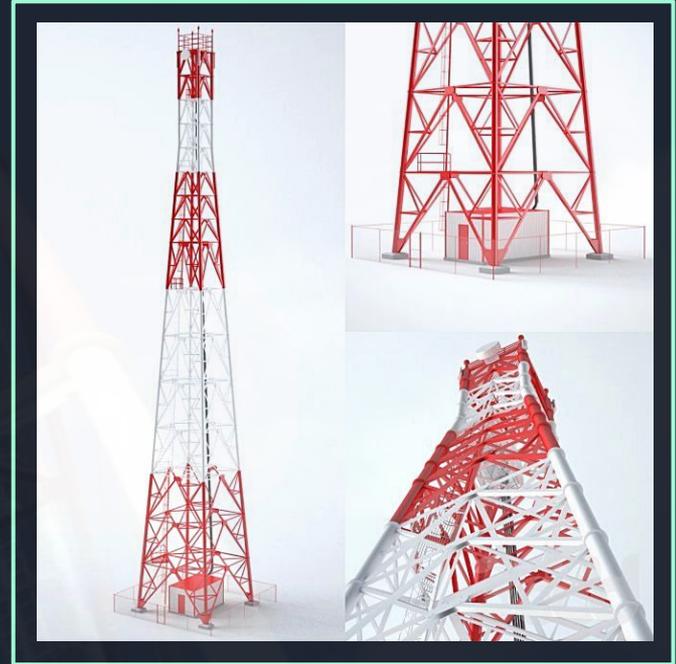


Антенно-мачочные сооружения могут быть изготовлены из угловой или из круглой прокатной стали. Назначение и предполагаемая нагрузка на АМС определяют выбор материала для их производства. Разные конструктивные элементы могут быть изготовлены из разного металла, однако их химические и механические характеристики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

# Выбор материала для производства АМС

Особенности конструкции из круглой стали:

- 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, удастся сократить материальные и временные затраты на монтаж конструкции;
- высокая коррозионная стойкость, что позволяет уменьшить площадь покрытия специальными антикоррозийными средствами.



# Выбор материала для производства АМС

Преимущества конструкции из угловой стали:

- по сравнению с АМС из прокатной стали намного выгоднее в экономическом плане, как при изготовлении, так и при транспортировке;
- длительный срок эксплуатации;
- устойчивость к воздействию атмосферных факторов.



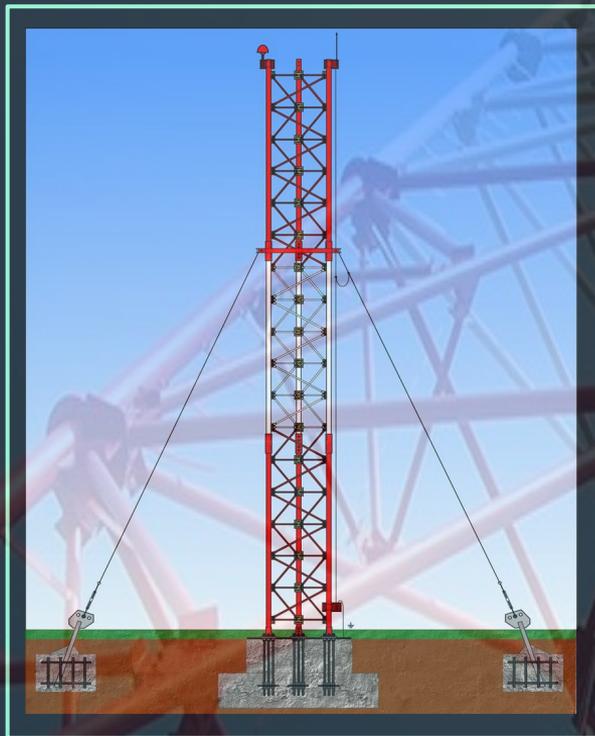
# Требования к АМС

Антенно-мачтовые сооружения должны отвечать следующим требованиям:

- температура эксплуатации в диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- влажность воздуха — 25-99%;
- высота расположения антенн и мачт не выше 2000 м над уровнем моря;
- скорость ветра максимально — 40 м/с;
- круглогодичная эксплуатация.

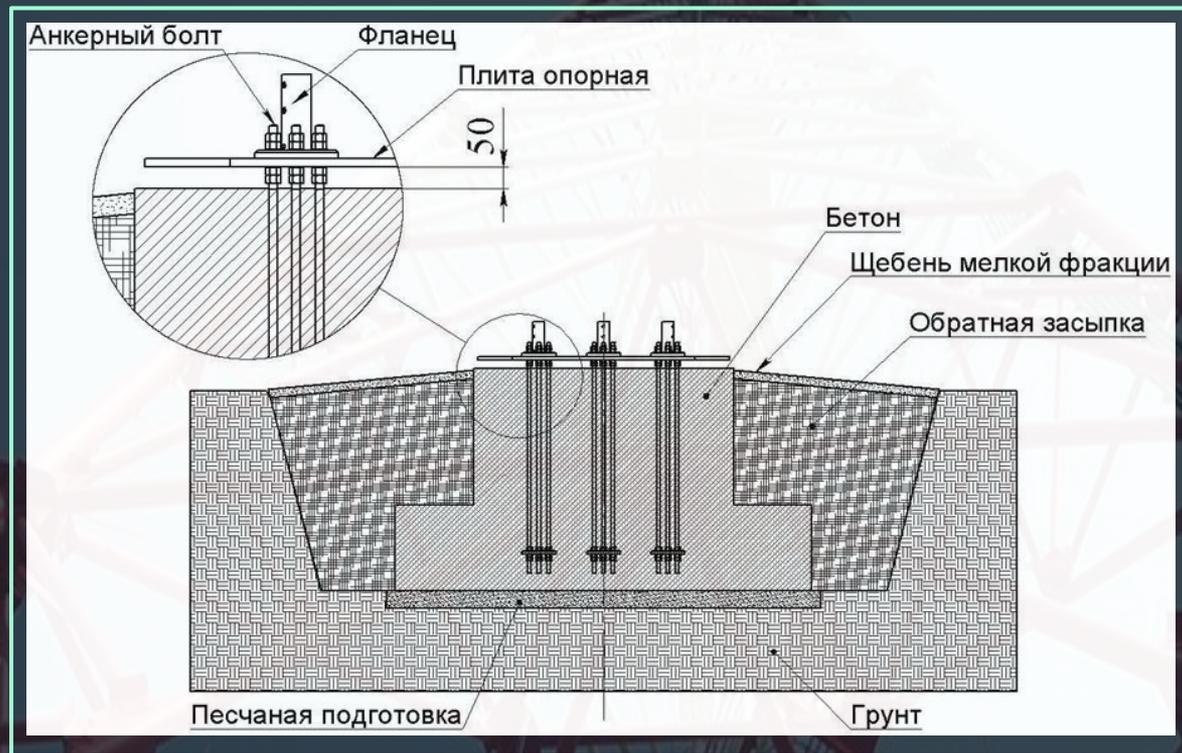


# Конструирование АМС



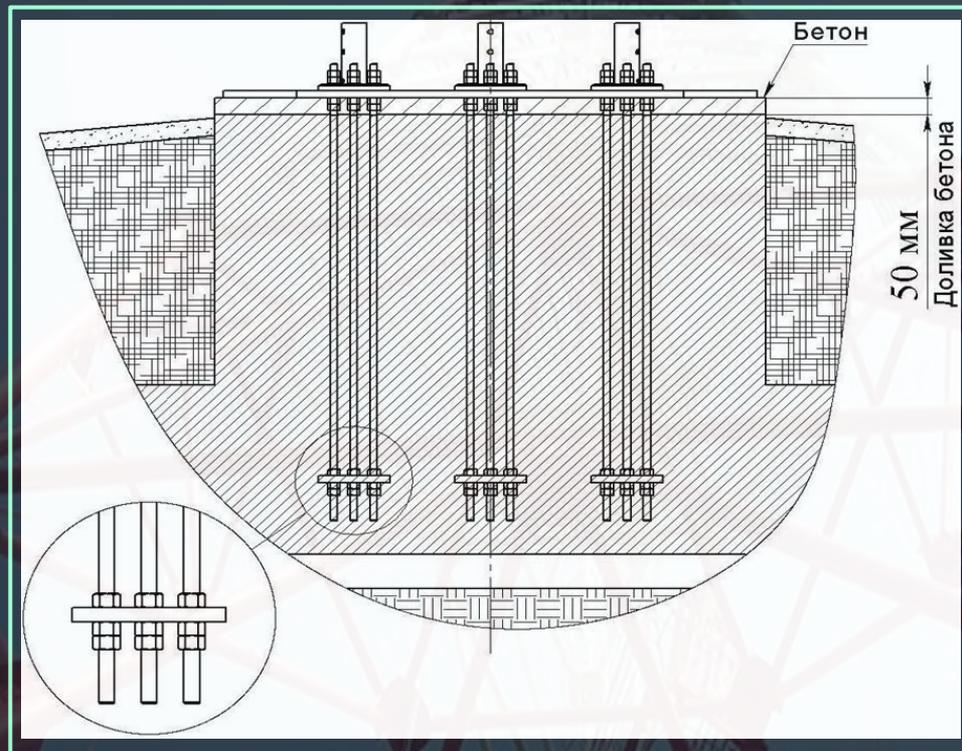
Принципы конструирования антенно-мачтовых сооружений рассмотрим на примере АМС серии MP-75 , которое предназначено для создания опор антенно- фидерных устройств в системах профессиональной радиосвязи различного назначения.

# Конструирование АМС



Фундамент мачты до выравнивания плиты

# Конструирование АМС



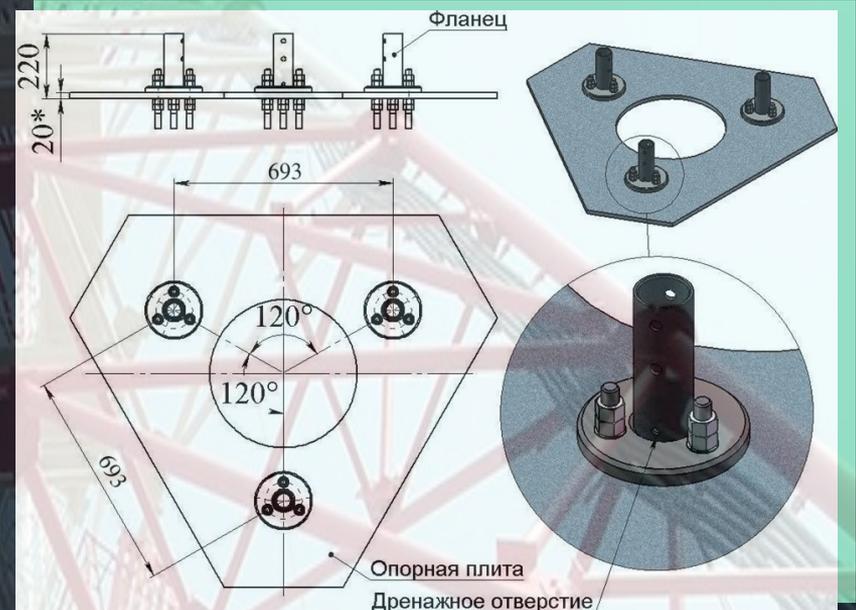
Плита опорная после выравнивания в горизонтальной плоскости

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Основания мачты

Основание предназначено для установки на него секций мачты и передачи нагрузок, действующих на опорную поверхность АМС.

Основание состоит из опорной плиты толщиной 20 мм, выполненной в форме равностороннего треугольника (изготавливается заказчиком) и фланцами (входят в комплект АМС) под установку первой секции мачты. В нижней точки направляющего патрубка фланца находится дренажное отверстие для слива конденсата.



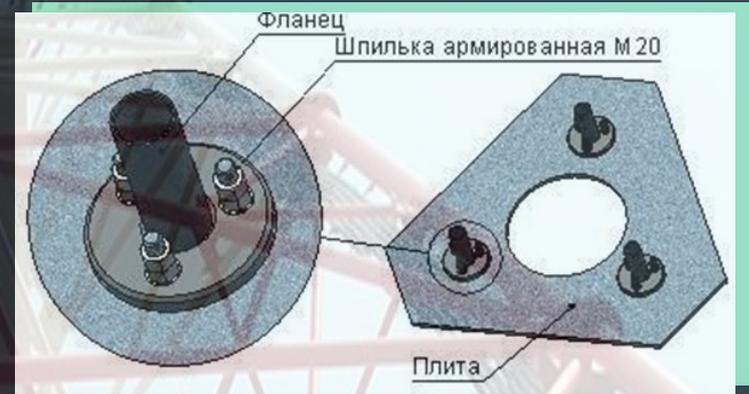
Основание мачты МР-75

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Установка опорной плиты АМС

Выверка горизонтальности производится с помощью регулировочных гаек, расположенных под опорной плитой и контролируется строительным уровнем. По окончании выравнивания плиты монтируем на шпильках фланцы мачты и заливаем пустое пространство, между фундаментом и плитой бетоном до уровня опорной поверхности фланцев.

По окончании установки опорной плиты, поверхности металлических и железобетонных конструкций, соприкасающихся с грунтом, проливается горячим битумом.



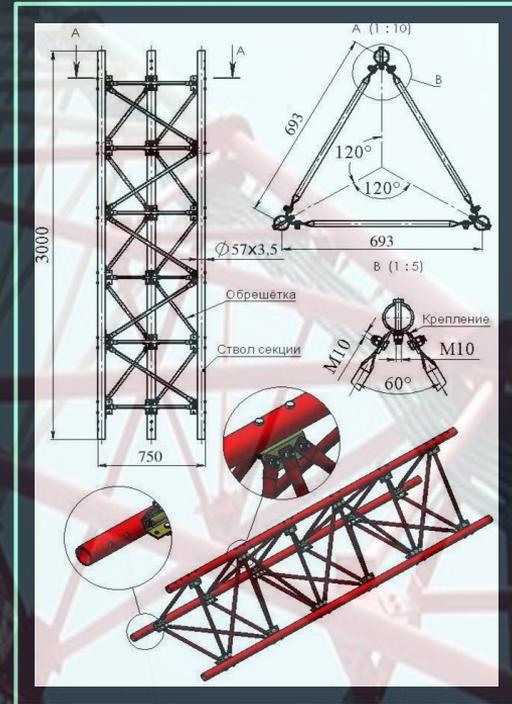
Установка фланцев на опорной плите

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Секция МР-75

Ствол мачты состоит из секций, количеством от 3 до 25 шт. Секция (Рис. 5) представляет собой стальную трехгранную сборную ферму, имеющую в сечении равносторонний треугольник со сторонами 750 мм. Высота секции равна 3000 мм.

Ствол секции изготовлен из трубы 57х3,5 с просверленными в ней отверстиями под установку креплений под обрешетку 11 мм и отверстий 14 мм для стыковки секций между собой с помощью соединительной муфты и болтового соединения М12.

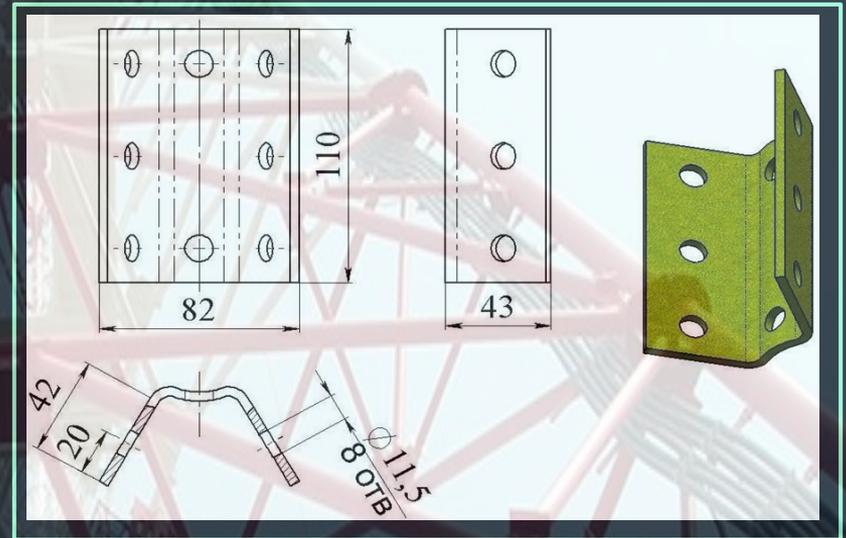


Секция мачты МР-75

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Секция МР-75

Крепление под обрешетку, представляет собой штампованную деталь, с отверстиями для установки его к стволу секции и для крепления обрешетки секции болтовым соединением М10.

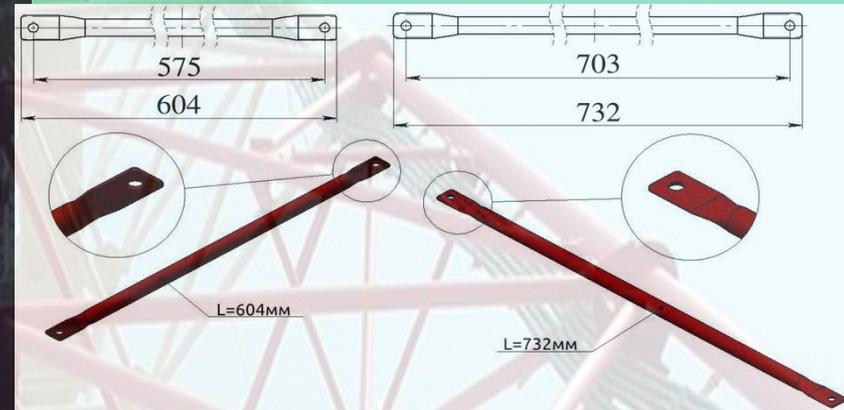


Пластина для крепления обрешетки

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

Поперечная обрешетка имеет Z-образную форму, что позволяет обеспечить возможность крепления с необходимым шагом элементов фидерного тракта. Элементы обрешетки изготовлены из стальных труб 20 мм, длиной 604 мм и 732 мм.

Также обрешетка секции является лестницей для проведения высотных работ по обслуживанию мачтовой конструкции.

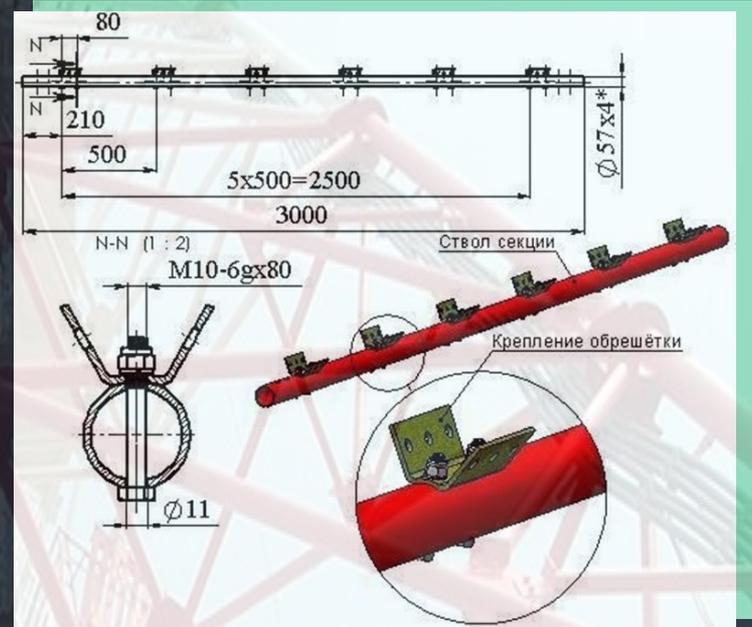


Раскосы обрешетки

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Сборка первой секции мачты

Сборку первой секции мачты следует проводить в горизонтальном положении на деревянных выкладках. Для этого, предварительно устанавливаем на каждый ствол секции мачты (труба 57 мм), с помощью болтового соединения М10х80, крепления обрешетки.

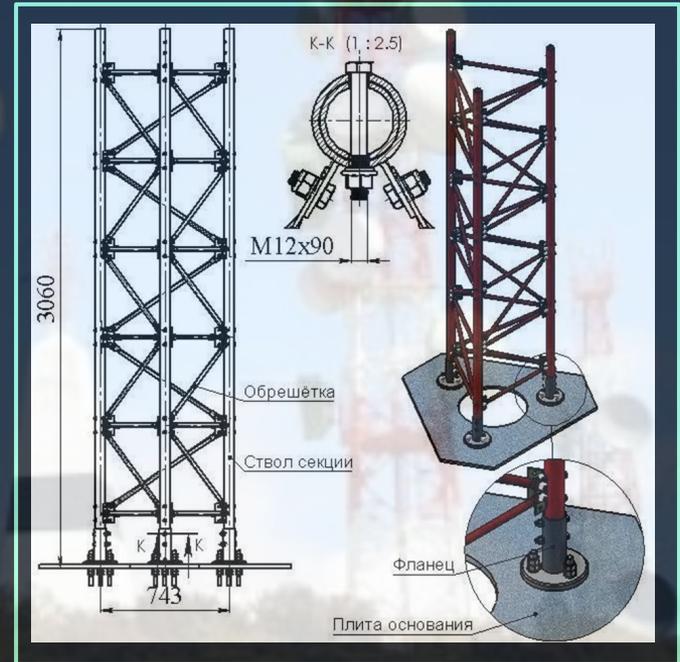


Установка креплений обрешетки на ствол секции

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

Собранная нижняя секция АМС монтируется на установленные ранее фланцы основания мачты и запирается болтами М12х90, самоконтрящиеся гайками М12 с установленными шайбами.

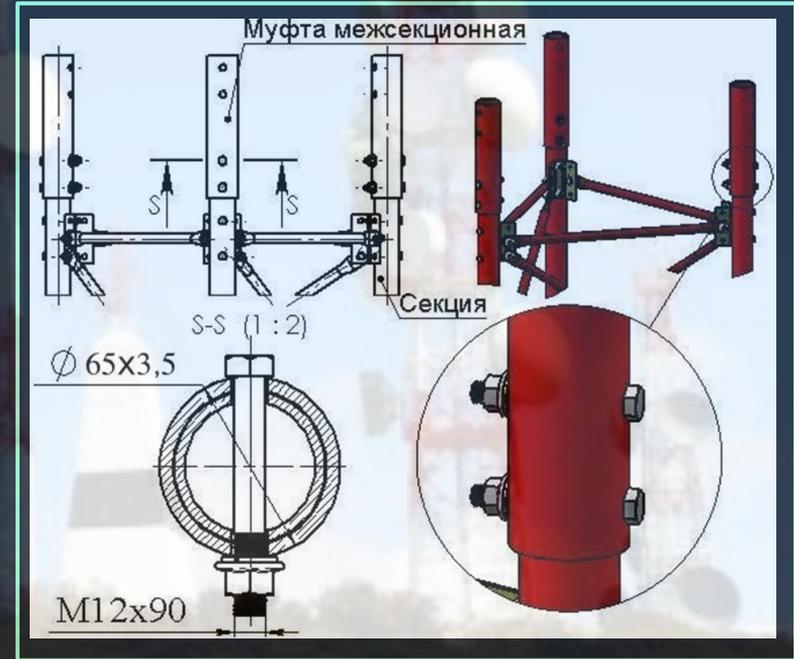
После установки первой секции АМС необходимо временно заземлить, устанавливаемую конструкцию, с помощью подручных средств.



Установка нижней секции на  
основание мачты

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

На верхние концы ствола мачты, установленной секции, устанавливаются межсекционные муфты и закрепляются на секции с помощью болтового соединения М12х90, шайбы и самоконтрящейся гайки М12.



Установка межсекционной муфты

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

При монтаже мачты следует учесть, что устанавливаемая секция АМС скрепляется с нижележащей секцией поперечной обрешеткой и цвета секций должны чередоваться (красный - белый). При этом верхняя секция должна быть красного цвета.

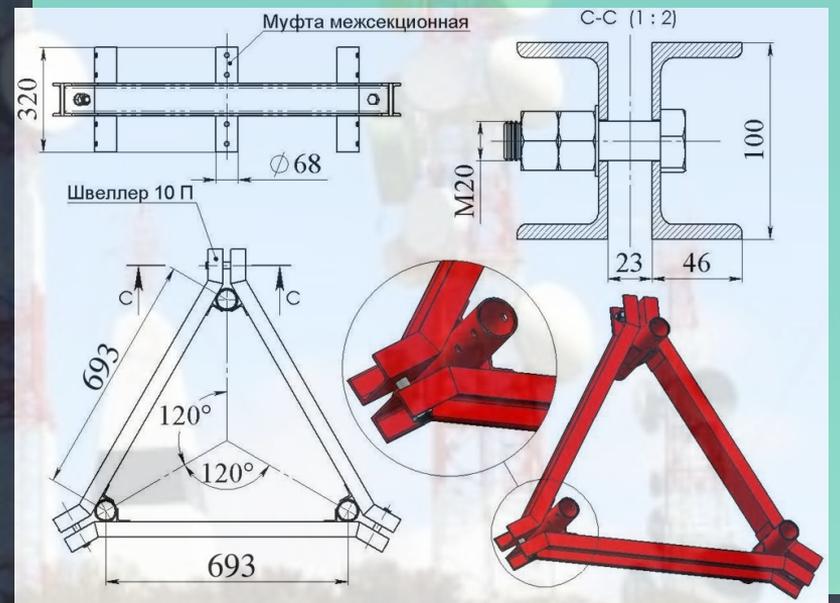


Установка обрешетки

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Узел крепления оттяжек серии МР-75

Узел крепления оттяжек предназначен для установки и фиксации оттяжек на теле мачты. Узел состоит из швеллеров № 10 П, установленных в форме равностороннего треугольника. К вершинам треугольника, с его внутренней стороны, приварены межсекционные муфты и уголки, выполняющие роль дополнительных элементов, увеличивающих жесткость конструкции.

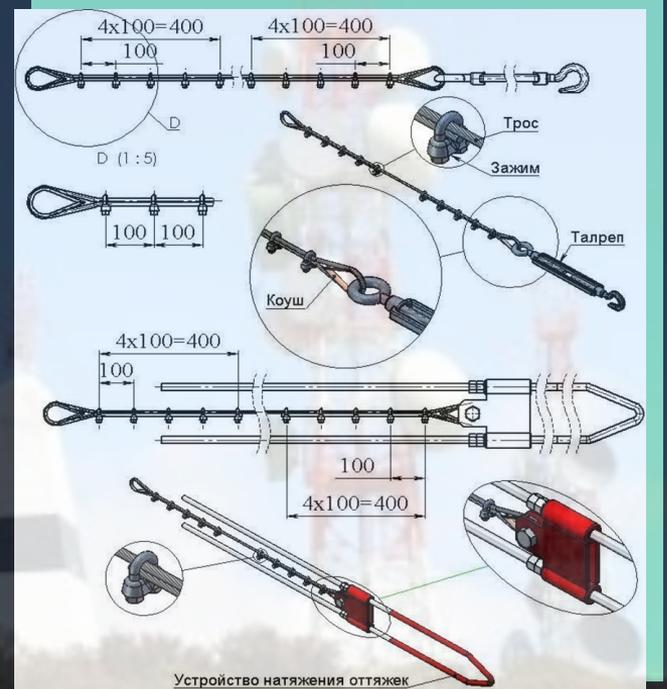


Узел крепления оттяжек мачты серии МР-75

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Оттяжка мачты МР-75

Оттяжка предназначена для расчаливания мачты относительно земли или кровли и для восприятия, передачи нагрузок, действующих на мачтовое устройство. Оттяжка состоит из стального троса, запасованного через коуш, одной стороной в талреп, закрепленный на анкерах. С другой стороны трос запасован в кронштейн узла крепления оттяжек.

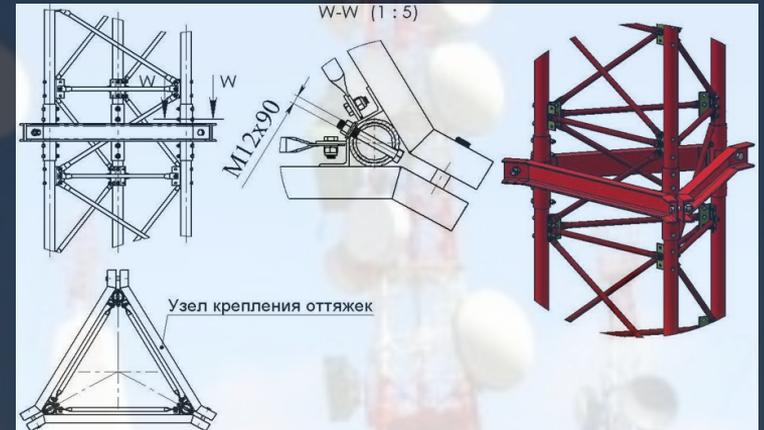


Оттяжки мачты МР-75

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

## Установка узла крепления оттяжек

При установке АМС следует учесть, что установка секций мачты, расположенных выше места крепления постоянных оттяжек или временных расчалок, допускается только после полного проектного закрепления и монтажного натяжения оттяжек нижележащего яруса.

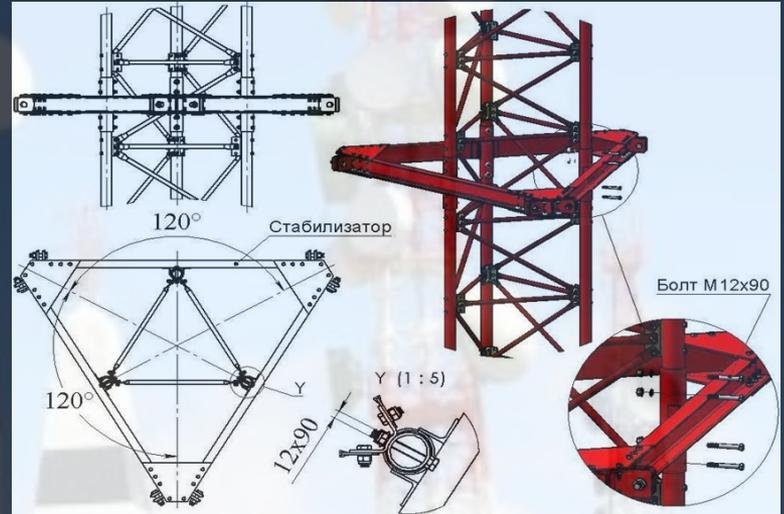


Установка узла крепления оттяжек

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей

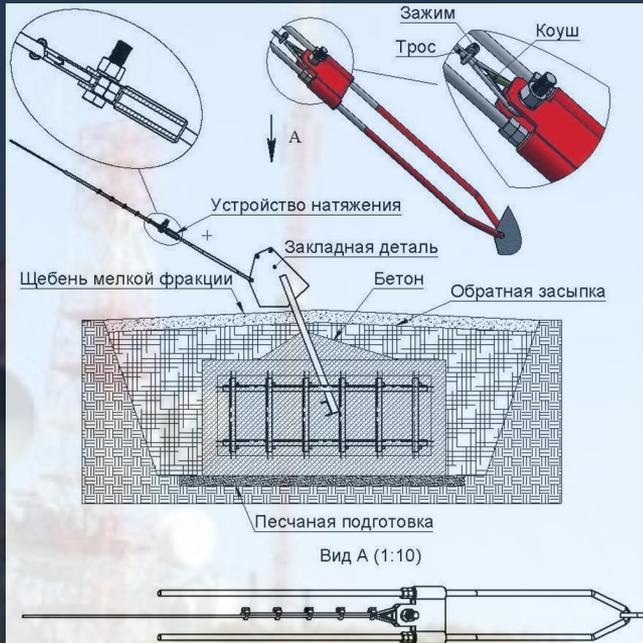
## Установка стабилизирующего устройства

В качестве межсекционного крепления, узла крепления оттяжек и во избежание кручения мачты относительно ее оси, на предпоследней секции, планируемой проектной высоты мачты, предусмотрена установка узла устройства стабилизации.



Монтаж устройств стабилизации

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей



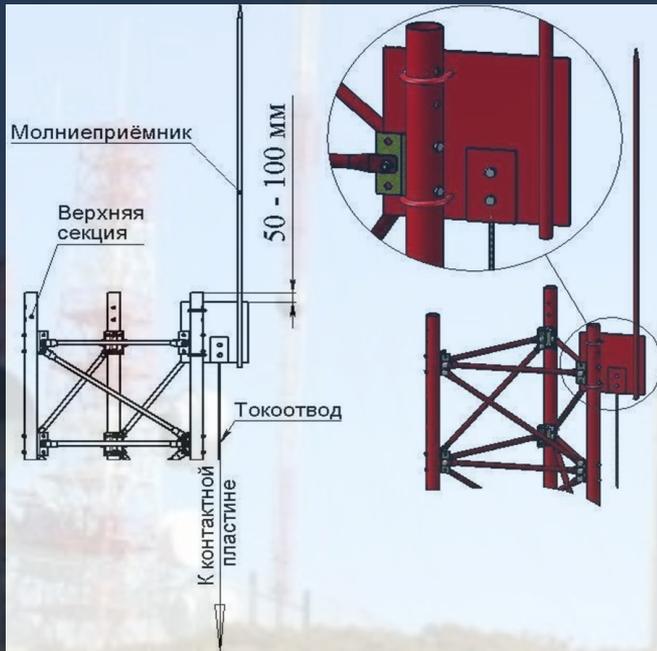
Анкер крепления оттяжек

## Анкер

Анкер предназначен для восприятия и передачи на фундамент нагрузок, возникающих в период эксплуатации мачтового устройства.

Анкер установленный на фундаменте, представляет собой заделанный в бетонную, заранее подготовленную, площадку швеллер в верхней части которого приварена пластина (закладная деталь) с отверстиями для фиксации талрепа (устройства натяжения), а к нижней его части приварен швеллер для увеличения опорной площади анкера.

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей



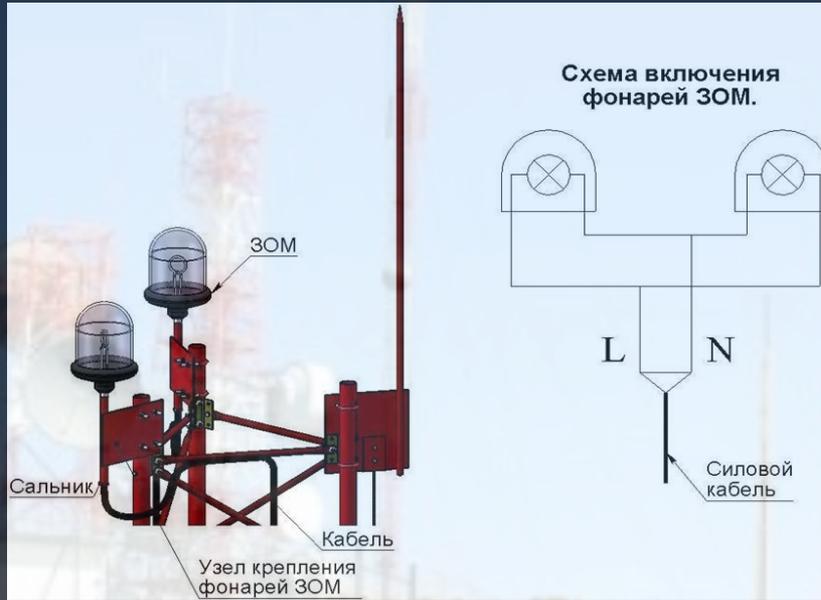
Монтаж молниеприемника и токоотвода

## Установка молниезащиты и заземления

Молниезащита и заземление АМС предназначены для защиты фидерного тракта и аппаратуры от воздействия разряда молнии.

На ствол верхней секции мачты, на расстоянии 50-100 мм от верхней его кромки устанавливается, при помощи двух хомутов и гаек М10, молниеотвод.

# Конструирование АМС: Назначение и устройство составных частей



Светоограждение: фонари ЗОМ

## Дневная маркировка и светоограждение

Дневную маркировку мачты выполняет чередование секций, белый-красный. При этом последняя, верхняя секция должна быть непременно красного цвета. Для светового ограждения должны быть использованы заградительные огни. АМС должно иметь световое ограждение на самой верхнем части (точке) и ниже через каждые 45 м.

# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## 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.

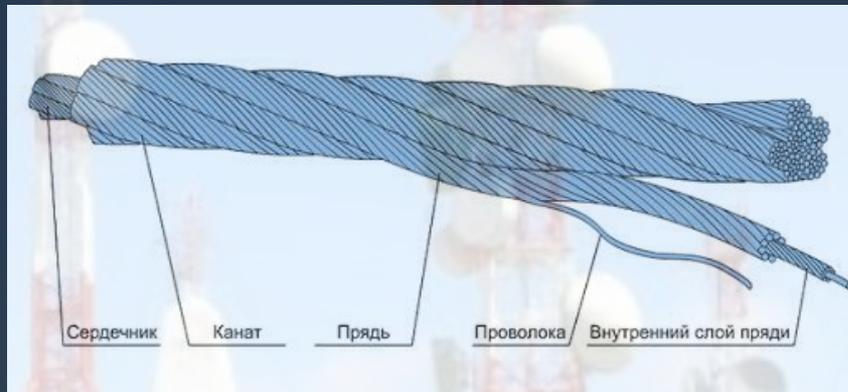
Его основная задача – сопротивляться радиальному давлению жил при нагрузке на трос, не допуская его поперечной деформации. Сердечник заполняет пустоты, которые образуются между скрученными проволоками.

# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## Стальной канат

По конструкции стальные канаты подразделяются:

- Одиной свивки (спиральные) — свитые из отдельных проволок в несколько слоев;
- Двойной свивки — состоящие из прядей, пряди из каболок;
- Тройной свивки — состоящие из свитых канатов двойной свивки (стрендей).



# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт



Тросовая оттяжка мачты в достаточно близком приближении представляет собой однородную напряженную струну. Как известно, период собственных (свободных) колебаний струны однозначно связан с ее напряжением, что и положено в основу предлагаемого способа измерений.

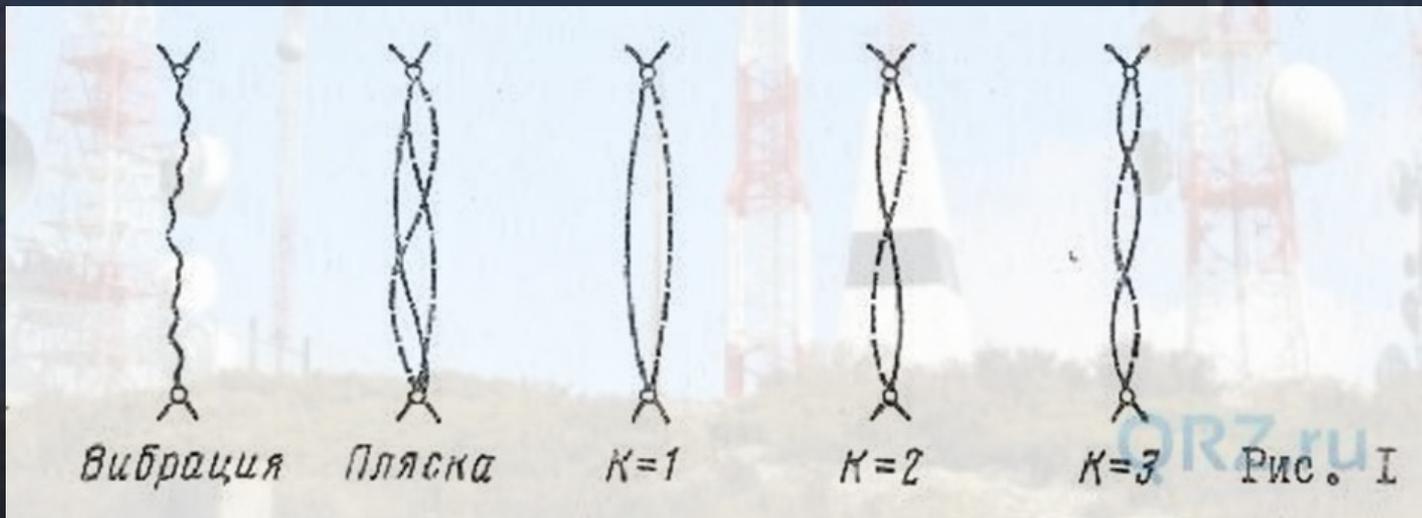
Способ измерений осуществляется в следующей последовательности:

1. возбуждение механических колебаний;
2. измерение периода колебаний;
3. расчет тяжения;
4. построение карты тяжений всех оттяжек мачты;
5. проверка и анализ полученных результатов.

# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## Возбуждение механических колебаний

Возбуждение механических колебаний осуществляется синхронным воздействием на оттяжку в ее нижней части. Следует различать следующие виды колебаний: вибрацию, пляску и чисто хроматические колебания на основной или кратной гармонике.



# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## Измерение периода колебаний

Измерение периода колебаний начинают с какого-либо крайнего положения троса, например, в правом положении нижней пучности. Со счетом "ноль" запускают секундомер и производят отсчет достаточно большого, для повышения точности, количества периодов (например, 50).

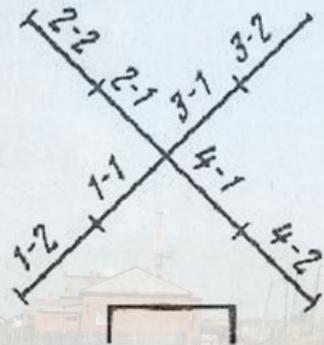


Рис. 2

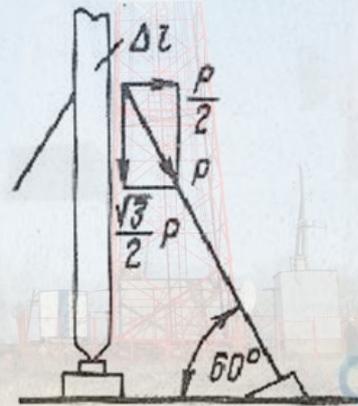


Рис. 3

# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## Расчет тяжения

Расчет тяжения начинают с заполнения таблицы паспортными данными оттяжек мачты. Общая зависимость тяжения от периода колебаний представляется следующей формулой:

$$P = \frac{4d}{g} \cdot \left(\frac{L}{k \cdot T}\right)^2, \quad (I)$$

где

P	- тяжение, кГ;
d	- погонный вес троса оттяжки, кГ/м;
g	- ускорение свободного падения, 9,8 м/с <sup>2</sup> ;
L	- длина оттяжки по точкам крепления, м;
k T	- соответственно номер гармоники и период колебаний, с.

# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

Таким образом, из паспортных данных требуется знать длину оттяжки и погонный вес используемого троса, который может быть получен как частное от деления общей массы троса оттяжки на ее длину.

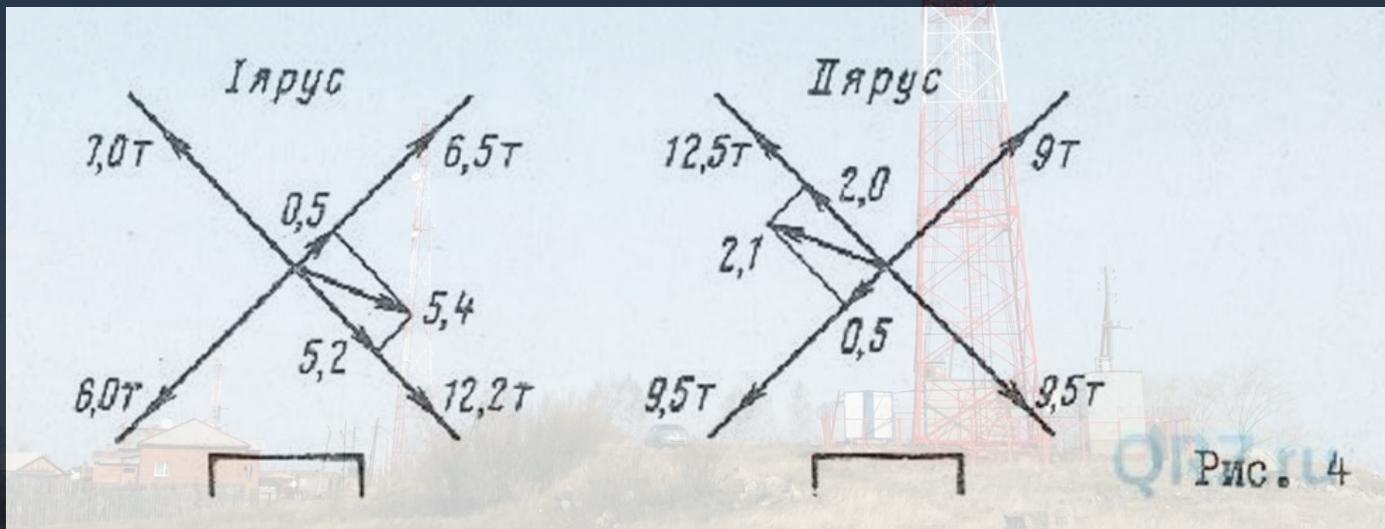
Т а б л и ц а

Ярус	Трос	Оттяжка	Длина, м	к	T <sub>50</sub> , °	Расчетная формула	Тяжение, кг		Примечание
							расчетное	истинное	
I	φ 36 мм d = 5410 кг/м	I-I	41,5	I	35,6	$P = 5500 \left( \frac{L}{KT_{50}} \right)^2 \text{ кг}$	7450		РРС №
		2-I	40,5	I	34,0		7840		Дата
		3-I	41,5	I	33,6		8380		Ветер 3 м/с
		4-I	40,5	I	32,8		8120		Со стороны 3 оттяжки
II	φ 36 мм d = 5410 кг/м	1-2	92,7	2	31,0	$P = 5500 \left( \frac{L}{KT_{50}} \right)^2 \text{ кг}$	12 230		Норма тяжения
		2-2	94,0	2	32,1		11 760		P <sub>н</sub> ±8%
		3-2	92,0	2	30,7		12 320		Выдерживается
		4-2	92,0	2	31,8		11 560		Подпись

# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## Построение карты тяжений всех оттяжек мачты

Сила, с которой натянута оттяжка, может быть разложена на две составляющие: вертикальную и горизонтальную. Действие вертикальной составляющей на ствол мачты - сдвливающее, горизонтальной - изгибающее.





# Метод измерения тяжений в оттяжках мачт

## Проверка и анализ полученных результатов

В том случае, если в одной из оттяжек производится изменение тяжения, составленный баланс сил перераспределяется по мачте. При этом требуется повторный промер тяжений в остальных оттяжках. В наиболее распространенных вариантах мачт с четырьмя оттяжками в ярусе расхождение тяжений происходит в одной диагонали по всем ярусам. Для этого типа мачт регулировка тяжений может производиться независимо в каждой диагонали с учетом данных о вертикальности и прогибе ствола.





# Пульсационные воздействия ветра на АМС

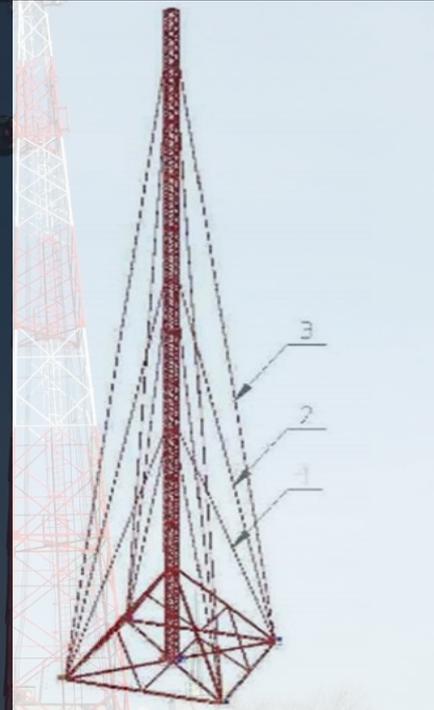
Как правило, антенно-мачтовые сооружения имеют несущие металлические конструкции из стали и фундамент из армированного бетона. Требования к проектированию и расчету стальных конструкций антенно-мачтовых сооружений приведены в СП 16.13330.2017 и СП 20.13330.2016. Требования к проектированию оснований — в СП 22.13330.2016.



# Пульсационные воздействия ветра на АМС

Рассмотрим пример расчета, который был освещен в научной статье DOCPLAYER

Мачта представляет собой пространственную четырехгранную ферму высотой 39 м с тремя ярусами оттяжек. Конструкция ствола мачты состоит из 13-ти секций со стороной грани 500 мм и номинальной длиной пояса 3 м, также опорной секции со стороной грани 8000 мм. Профили поясов ствола мачты выполнены из стальных труб  $\varnothing 57 \times 3,5$ , профили раскосов и распоров —  $\varnothing 14$ , профили элементов опорной секции —  $\varnothing 108 \times 4$ , изготовлены из стали С255 с расчётным пределом текучести 230 Н/мм<sup>2</sup>.



Конечно-элементная модель расчетной схемы в SCAD

# Пульсационные воздействия ветра на АМС

№	Наименование оборудования	Расчетный вес, включая кронштейны, кН
1	панель Allgon 7755	0,497
2	Кронштейн:	
	- L 40x4	
3	- ø 76x3,5	0,309
	РРЛØ640 мм	
4	Кронштейн:	
	- L 40x4	
	- ø 108x3,5	

Расчетным сочетанием нагрузок является сочетание постоянных (собственный вес конструкций и оборудования) и кратковременных (ветровых) нагрузок. Расчет выполнен при условии абсолютной жесткости фундаментов. Для данной расчетной схемы рассматривались следующие расчетные загрузки:

- расчетная нагрузка от собственного веса конструкции;
- расчетная нагрузка от веса технологического и антенно-фидерного оборудования;
- расчетная фронтальная нагрузка от ветрового давления;
- расчетная диагональная нагрузка от ветрового давления

# Пульсационные воздействия ветра на АМС

## Варианты задания пульсационной составляющей

- описанный в СП 20.13330.2016
- линейно-спектральный анализ

### Вариант по СП

Выбор формулы для расчёта пульсационной составляющей зависит от значений частот собственных колебаний конструкции. Собственные частоты мачты связи представлены на рисунке.

Форма колебания	Собственная частота, Гц	Период, с
1	1,395762	0,716454
2	1,395894	0,716386
3	3,63665	0,274978



# Пульсационные воздействия ветра на АМС

$$W_p = W_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v,$$

где:

- $\zeta$  — коэффициент пульсации давления ветра;
- $v$  — коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

$\delta$	0,15	0,22	0,3
$T_{g,lim}$	0,0077	0,014	0,023

## Варианты задания пульсационной составляющей

Собственные частоты сравниваются с предельными частотами собственных колебаний, которые определяются по таблице в зависимости от ветрового района и типа конструкции. Для рассматриваемого сооружения для II ветрового района значение предельной частоты собственных колебаний равно: 3,4 Гц. Оно больше первой собственной частоты конструкции, следовательно, расчёт пульсационной составляющей будет производиться по формуле:

# Пульсационные воздействия ветра на АМС

## Линейно-спектральный анализ

### 8. Загружения и их сочетания

В таблице 7 представлены расчётные комбинации загружений.

Таблица 7. Расчётные комбинации загружений

Номер	Наименование
1	$(L_1)*1,00 + (L_2)*1,00 + (L_3)*1,00 + (L_4)*1,00$
2	$(L_1)*1,00 + (L_2)*1,00 + (L_5)*1,00$

Условные обозначения, принятые в таблице 7:

- $L_1$ — расчётная нагрузка от собственного веса конструкции;
- $L_2$ — расчётная нагрузка от веса технологического оборудования;
- $L_3$ — расчётная статическая нагрузка от статической составляющей ветрового воздействия;
- $L_4$ — расчётная статическая нагрузка от пульсационной составляющей ветрового воздействия;
- $L_5$ — расчётная динамическая нагрузка от ветрового воздействия с учётом пульсационной составляющей.

### 9. Анализ НДС системы и сравнение результатов расчётов

В этом разделе приведены результаты конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций и выполнено сравнение результатов, полученных в ПК SCAD Office.

#### 9.1. Суммарные перемещения узлов расчетной схемы мачты

Максимальные суммарные перемещения при нагружении в соответствии с комбинацией 1—101,11 мм.

Максимальные суммарные перемещения при нагружении в соответствии с комбинацией 2 —177,57 мм.

Расхождения результатов расчёта: 43%.

Перемещение верха ствола ограничено величиной  $H/100 = 390$  мм в соответствии с требованиями п. 17.7 [2]. Полученные результаты удовлетворяют требованиям.

# Пульсационные воздействия ветра на АМС

## Линейно-спектральный анализ

Таблица 8. Усилия в опорных узлах мачты

Комбинации нагрузок	Направление усилий	Номер опорного узла							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Статическая теория приложения инерционной нагрузки, по [1]									
1 (ветер 0°)	RX, кН	-0,19	-0,07	-0,30	-0,03	4,22	1,56	1,62	4,29
	RY, кН	-0,01	-0,08	0,04	0,05	-4,08	1,28	-1,34	4,14
	RZ, кН	1,52	3,99	3,99	1,53	19,04	-8,78	-8,84	19,16
Метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория)									
2 (ветер 0°)	RX, кН	-0,33	-0,1	-0,47	-0,06	5,36	2,86	2,92	5,43
	RY, кН	0	-0,1	0,04	0,06	-5,17	2,37	-2,43	5,23
	RZ, кН	1,02	4,49	4,49	1,02	26,75	-16,47	-16,54	26,57

Расхождение результатов расчёта: 28%.

### 9.2. Сравнение полученных нагрузок на опорные узлы мачты

Расположение опорных узлов показано на рисунке 5.

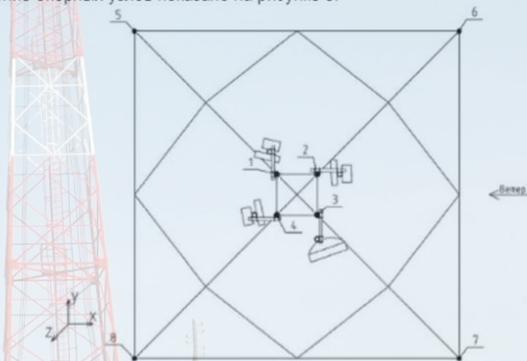


Рисунок 5. Номера опорных узлов мачты

# Пульсационные воздействия ветра на АМС

Такой большой разброс значений результатов расчёта предположительно связан с особенностями нелинейной работы оттяжек, а точнее с тем, как SCAD Office учитывает эти особенности под воздействием динамической нагрузки. Для подтверждения этой точки зрения проведём аналогичное исследование для конструкции уголкового башни связи, высотой 30 м, рассмотренной в статье. Башни связи не имеют оттяжек.

## 9.4. Сравнение полученных нагрузок на опорные узлы башни

Расположение опорных узлов показано на рисунке 6.

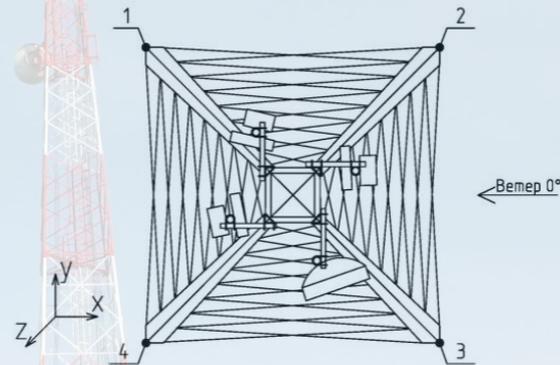


Рисунок 6. Номера опорных узлов башни

Результаты расчётов усилий в опорных узлах представлены в таблице 9.

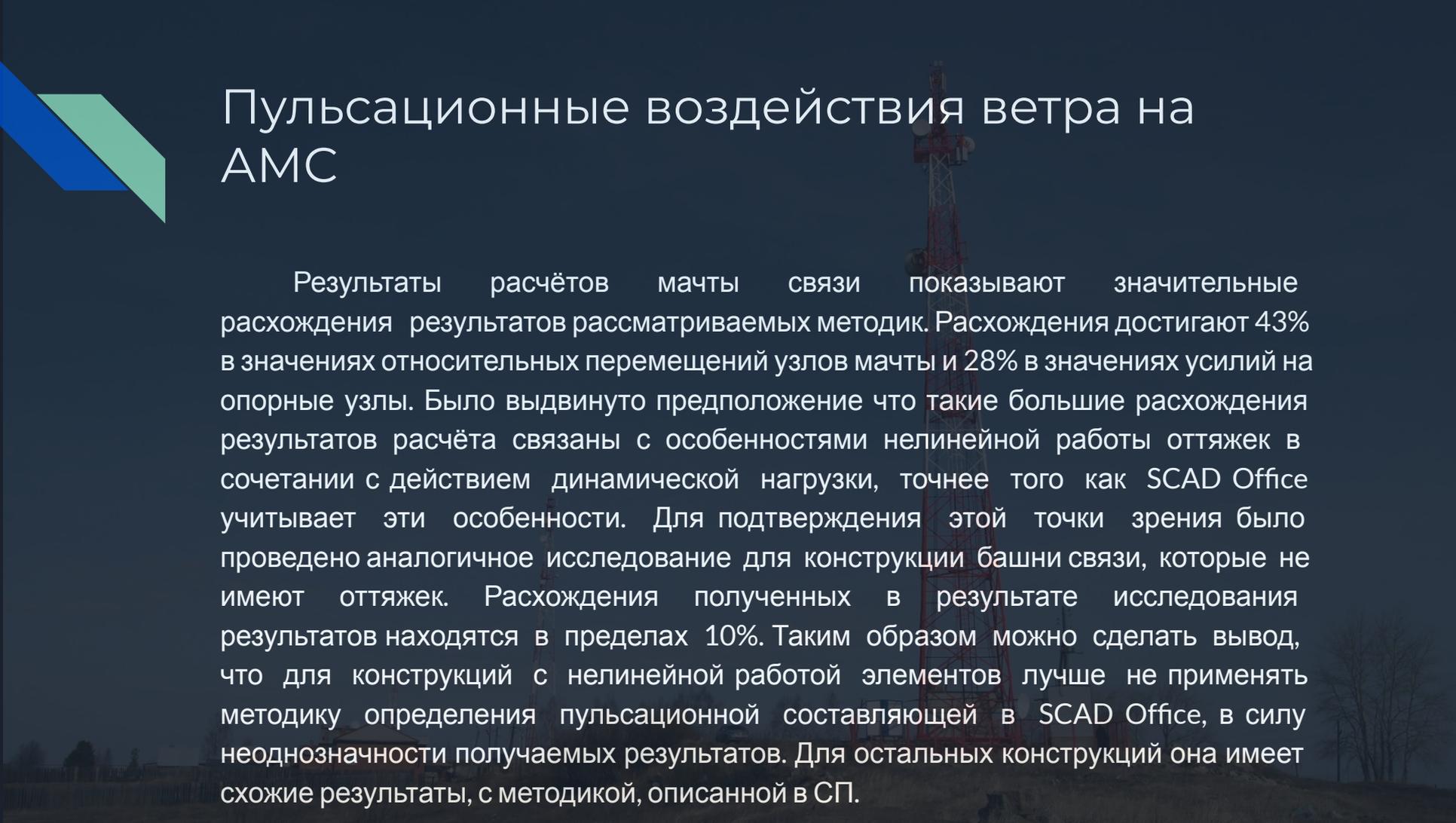
Таблица 9. Усилия в опорных узлах башни

Комбинации загрузений	Направление усилий	Номер опорного узла			
		1	2	3	4
<b>Статическая теория приложения инерционной нагрузки, по [1]</b>					
1 (ветер 0°)	RX, кН	3,14	2,35	2,94	3,83
	RY, кН	-2,26	1,47	-2,16	2,94
	RZ, кН	52,48	-36,01	-36,01	52,88
<b>Метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория)</b>					
2 (ветер 0°)	RX, кН	3,29	2,42	3,12	3,95
	RY, кН	-2,31	1,51	-2,27	3,11
	RZ, кН	56,68	-38,17	-37,81	57,11

Расхождение результатов расчёта: 8%.



# Пульсационные воздействия ветра на АМС



Результаты расчётов мачты связи показывают значительные расхождения результатов рассматриваемых методик. Расхождения достигают 43% в значениях относительных перемещений узлов мачты и 28% в значениях усилий на опорные узлы. Было выдвинуто предположение что такие большие расхождения результатов расчёта связаны с особенностями нелинейной работы оттяжек в сочетании с действием динамической нагрузки, точнее того как SCAD Office учитывает эти особенности. Для подтверждения этой точки зрения было проведено аналогичное исследование для конструкции башни связи, которые не имеют оттяжек. Расхождения полученных в результате исследования результатов находятся в пределах 10%. Таким образом можно сделать вывод, что для конструкций с нелинейной работой элементов лучше не применять методику определения пульсационной составляющей в SCAD Office, в силу неоднозначности получаемых результатов. Для остальных конструкций она имеет схожие результаты, с методикой, описанной в СП.