

УДК 624.97

## **Исследование характеристик сечений и оттяжек мачт сотовой связи**

**Губанов В.В.,** к.т.н., **Межинская И.В.,** аспирант

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Украина

**Анотація.** У статті розглядаються питання вибору характеристик перерізів стовбурів і відтяжок для щогл стільникового зв'язку. За допомогою розробленої методики розрахунку проведені чисельні експерименти щодо дослідження впливу геометричних параметрів стовбура і форми ґрат на витрату матеріалу і щодо дослідження впливу переміщень стовбура на вертикальні навантаження в споруді і на підбір перерізу канатів.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы выбора характеристик сечений стволов и оттяжек для мачт сотовой связи. С помощью разработанной методики расчета проведены численные эксперименты по исследованию влияния геометрических параметров ствола и формы решетки на расход материала и по исследованию влияния перемещений ствола на вертикальные нагрузки в сооружении и на подбор сечения канатов.

**Abstract.** In the article the problems are under consideration concerning selection of tubes' and guys' sections for communication system masts. With the aid of elaborated calculation methods the numerical experiments were conducted related with investigation of influence of geometrical parameters of the tube and lattice shape on material consumption, as well as research concerning influence of tube displacements acting on the structure's vertical loads and on selection of rope sections also.

**Ключевые слова:** металлические мачты, методика расчета, ствол, оттяжки.

**Введение.** В настоящее время возрастает потребность в строительстве легких и надежных опор, которые поддерживали бы оборудование, передающее и принимающее сигналы. Для этой цели широко применяются металлические мачты на оттяжках. В условиях города мачты располагают на крышах зданий. Это позволяет уменьшить высоту самих сооружений и сэкономить городскую территорию. При этом высота мачт обычно не превышает 30 м. Однако на данный момент отсутствуют нормативные документы по расчету таких конструкций и рекомендации по их рациональному проектированию. В технической литературе исследованы вопросы расчета и конструирования высоких мачт – от 45 до 400 м [1–4]. Мачты мобильной связи имеют свои отличительные особенности, которые влияют на эффективность конструктивных решений.

**Цель работы.** Исследование характеристик сечений и оттяжек мачт сотовой связи.

**Методика расчета.** Методика расчета мачт реализована в среде программы MathCAD. Расчет мачты ведется в плоскости действия моментов как сжато-изогнутого стержня, поддерживаемого нелинейно-упругими опорами, на восприятие продольных и поперечных нагрузок. Критериями являются перемещение узла крепления верхнего яруса оттяжек к стволу и прочность оттяжек.

Исходные данные для расчета: геометрические параметры сооружения, ветровая и гололедная нагрузки, диаметры канатов.

В основе методики лежит принцип ограничения перемещения узла крепления верхнего яруса оттяжек. Для сооружений связей, поддерживающих антенны, критическим фактором являются деформации ствола. Превышение допустимых значений ведет к непригодности по условиям нормальной эксплуатации. Расчет мачт ведется по II группе предельных состояний.

Используется принцип оптимизации эпюры моментов, предложенный Соколовым А.Г. [1]. В соответствии с ним опорные моменты в стволе приблизительно равны пролетным. Данный принцип хорошо применим к высоким мачтам, у которых консольный участок имеет незначительную длину по отношению к размерам всего сооружения и не оказывает влияния на равномерность эпюры моментов. Момент на верхней опоре зависит только от длины верхнего участка и приложенной к нему ветровой нагрузки. К примеру, у мачты высотой 30 м с двумя уровнями оттяжек, где на консоли размещены антенны, максимальный момент по высоте ствола возникает на верхней опоре.

Применяются уравнения неразрывности упругой линии, равновесия узла и гибкой нити. Решается система трех уравнений, включая кубические. Искомые величины: предварительное напряжение, максимальное и минимальное напряжения в оттяжках при среднегодовой температуре и воздействии ветра.

Затем рассчитываются напряжения и перемещения при температурах теплого и холодного времен года, воздействиях ветра и гололеда. Определяются монтажные напряжения при отсутствии ветра и перепадах температур. Выполняется проверка прочности и устойчивости элементов ствола.

**Результаты экспериментальных исследований.** Важный вопрос при проектировании мачты – это назначение характеристик сечения ствола. Неизвестным является оптимальное расстояние между поясами ствола.

Для четырехгранной мачты высотой 24 м с двумя уровнями оттяжек, сходящимися у одного анкера, выполнены расчеты по определению

оптимального расстояния между поясами ствола. Мачта расположена в г. Донецке на отметке + 47,000 м.

На сооружении размещено оборудование: на отметке + 71,000 – 8 антенн GSM и 4 антенны РРЛ диаметрами 0,6 м; на отметке + 61,000 – 4 антенны РРЛ диаметрами 0,6 м; на отметке + 69,200 – Flexi BTS (133x447x560 мм); фидера по всей высоте (ширина кабеля 250 мм).

Расстояние между поясами равно длине панели ствола. Рассматривались стволы с расстоянием между поясами, изменяемым от 300 до 1500 мм. Расчеты выполнялись для двух вариантов решетки: треугольной и треугольной с распоркой. Схема мачты изображена на рис. 1.

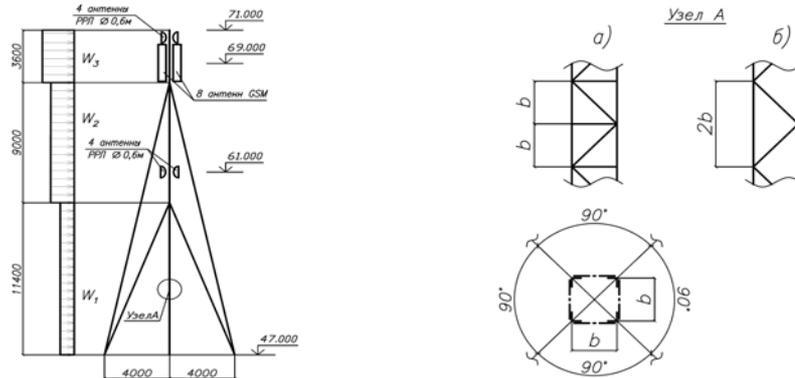


Рис. 1. Схема мачты высотой 24 м:  
а – треугольная схема решетки с распоркой; б – треугольная схема решетки

При определении диаметра каната принималось, что усилие натяжения не должно превышать половины разрывного усилия [2]. Минимальные размеры поперечных сечений элементов ствола принимались в соответствии с требованиями о размещении болтов [п. 12.19\*, 6] (минимальное расстояние от центра болта до края элемента 1,2d). Массы металлических конструкций мачт приведены в табл. 1.

Таким образом, минимальный расход металла как ствола, так и оттяжек наблюдается при наименьшем расстоянии между поясами ствола. Это связано с уменьшением наветренной поверхности элементов и, как следствие, снижением ветровой нагрузки на сооружение.

Выполнены расчеты массы металлических конструкций ствола и оттяжек для данной схемы мачты с устройством треугольной решетки. Расстояние между поясами принималось 300, 600 и 900 мм. Массы конструкций приведены в табл. 2.

Таблица 1

**Массы металлических конструкций для мачт с треугольной схемой  
решетки с распоркой**

Расстояние между поясами ствола $b$ , мм	Вес конструкции ствола, т	Вес оттяжек, т	Общий вес, т
300	0,469	0,047	0,516
600	0,706	0,061	0,767
900	1,043	0,066	1,109
1200	1,753	0,066	1,819
1500	2,120	0,087	2,207

Таблица 2

**Массы металлических конструкций для мачт  
с треугольной схемой решетки**

Расстояние между поясами ствола $b$ , мм	Вес конструкции ствола, т	Вес оттяжек, т	Общий вес, т
300	0,536	0,047	0,583
600	1,101	0,061	1,162
900	1,239	0,061	1,3

Сравнивая результаты, можно увидеть, что для данной мачты расход материала меньше при треугольной решетке с распоркой. При этом свободная длина поясов сокращается вдвое и уменьшается требуемая площадь поперечного сечения.

На примере данной мачты высотой 24 м с принятыми расстоянием между поясами 300 мм и треугольной схемой решетки с распоркой исследовались параметры оттяжек. Получена зависимость продольной нагрузки в стволе мачты  $N$  (от предварительного напряжения оттяжек одного яруса) при изменении отклонения узла крепления верхнего уровня оттяжек (см. рис. 2). Продольные нагрузки мачты нелинейно зависят от перемещений точек ствола.

Для исследования влияния перемещений точек ствола на подбор сечений канатов получены зависимости отношения  $P/P_{разр}$  от величины отклонения узла верхнего яруса оттяжек для расчетной температуры холодного периода года и для гололеда (рис. 3, 4), где  $P$  – максимальное усилие в оттяжке от действия нагрузки,  $P_{разр}$  – разрывное усилие в канате.

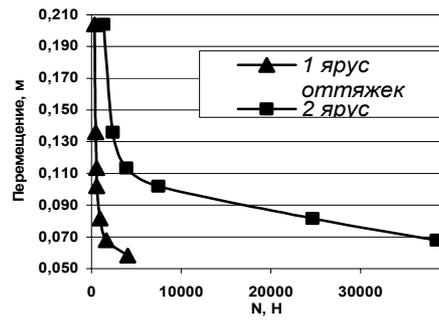


Рис. 2. Зависимость продольной нагрузки  $N$  (от предварительного напряжения оттяжек яруса) от величины отклонения узла крепления верхнего уровня оттяжек

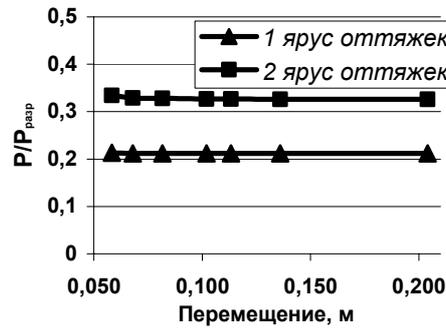


Рис. 3. Зависимость отношения  $P/P_{разр}$  от величины отклонения узла крепления верхнего уровня оттяжек при расчетной температуре холодного периода года

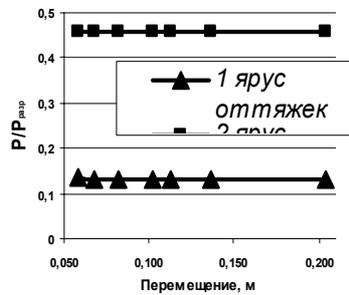


Рис. 4. Зависимость отношения  $P/P_{разр}$  от величины отклонения узла крепления верхнего уровня оттяжек при гололеде

Для первого яруса оттяжек мачты при действии отрицательной температуры возникают большие усилия в канатах, чем в условиях гололеда. Для второго яруса оттяжек большие усилия в канатах возникают при гололедной нагрузке.

### **Выводы**

1. Для мачт сотовой связи расстояние между поясами ствола следует принимать минимальным, оставляя возможность размещения фидеров внутри ствола.
2. Для мачт сотовой связи рациональной является треугольная схема решетки ствола с распоркой.
3. Полученные данные необходимо подтвердить для мачт высотой до 30 м.
4. Вертикальные нагрузки мачты нелинейно зависят от перемещений точек ствола.
5. Для первого уровня оттяжек мачты критической нагрузкой для подбора сечений оттяжек является расчетная температура холодного периода года, а для второго яруса – гололед.
6. Уменьшение перемещения ствола практически не влияет на подбор сечения канатов оттяжек, но оказывает влияние на подбор поперечных сечений элементов ствола.

### **Литература**

- [1] *Соколов А.Г.* Опоры линий передач (расчет и конструирование). М., Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 171 с.
- [2] *Металлические конструкции.* Под ред. Кудишина Ю.И., М., Академа, 2006. – С. 600–624.
- [3] *Справочник проектировщика. Металлические конструкции.* Под ред. Мельникова. Н.П. 2-е изд., перераб. и доп. М, Стройиздат, 1980. – 776 с.
- [4] *Smith B.W.* Communication structures. Thomas Telford, 2007, – 352 p.
- [5] *Тимошенко С.П.* Устойчивость упругих систем. М, ИГИЗ-ГОСТЕХИЗДАТ, 1946. – 532с.
- [6] СНиП II-23-81\* Стальные конструкции.

*Надійшла до редколегії 19.07.2008 р.*