

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиопизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 212

Образцов

И С С Л Е Д О В А Н И Е
ВЕСОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОНСТРУКЦИЙ
ТРУБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

Горький 1986

В практике расчета на прочность мачтовых конструкций трубчатого сечения антенн (в частности, при проектировании антенны "Шторм") приходится решать и задачу определения оптимальных весогабаритных параметров, т.е. обеспечения оптимальной прочности при минимальном весе конструкции.

Правильное и рациональное решение ее ведет к повышению производительности труда конструктора-расчетчика, экономии материалов, снижению расходов на транспортировку антенных конструкций к месту монтажа, повышению производительности труда монтажников-сборщиков.

Задача отыскания минимального веса антенной мачты трубчатого сечения, нагруженной изгибающим моментом, заключается в поиске оптимальных размеров сечения профиля удовлетворяющих при этом требованию необходимой прочности конструкции. Однако, разнообразие типоразмеров труб, предлагаемых для применения в практике проектирования ГОСТами, значительно затрудняет быстрое и точное решение этой задачи.

Поэтому выяснение теоретической закономерности изменения веса мачтовой опоры, нагруженной изгибающим моментом, от параметров поперечного сечения весьма актуально и позволит лишить расчетно-конструкторские работы трудоемких и продолжительных по времени "подборов" необходимых параметров из соответствующих ГОСТов.

Для мачтовых конструкций могут быть использованы и используются стальные бесшовные холоднодеформированные (ГОСТ 8734-75) и стальные бесшовные горячекатаные трубы (ГОСТ 8732-78). Характеристики поперечного сечения труб представлены в табл. I и 2.

Магты антенных сооружений подвержены воздействию изгибающего момента от ветровой нагрузки, сил действия противовесов, растягивающих сил полотна и др. Поэтому антенную магту рассчитывают на изгибную прочность.

Нагружение антенной магты для расчета на изгибную прочность производится по схеме

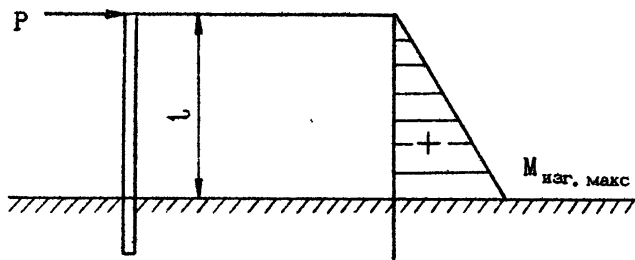


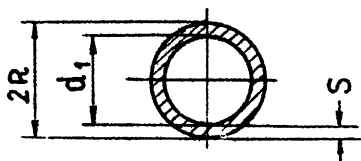
Рис. 1

Условие прочности при изгибе описывается формулой

$$\sigma_{\text{изг}} \leq [\sigma]_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг. макс}}}{W} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right], \quad \text{где} \quad (1)$$

$M_{\text{изг. макс}}$ - максимальный изгибающий момент [кг·см], W - момент сопротивления сечения [см³], $[\sigma]_{\text{изг}}$ - допустимое напряжение материала при изгибе [кг/см²], $\sigma_{\text{изг}}$ - расчетное значение напряжения изгиба [кг/см²].

Момент сопротивления W трубчатого сечения определяется формулой



$$W = \pi R^2 S [\text{см}^3]. \quad (2)$$

Рис. 2

Однако эта формула справедлива при значениях $\frac{2R}{S} \geq 10$. В табл. I, 2 представлено все поле типоразмеров трубчатого профиля. Штриховкой обозначены параметры, удовлетворяющие условию $\frac{2R}{S} \geq 10$. Практически в расчетах используется именно эта область, т.к. нарушение условия $\frac{2R}{S} \geq 10$ приводит к приближенному значению W , а именно:

$$W \approx 0,1 D^3 (1 - C^4), \quad \text{где } C = \frac{d_1}{2R}. \quad (3)$$

Это делает невозможным определение действительно оптимальных характеристик конструкции.

Масса одного погонного метра трубы подсчитывается по формуле

$$M = 0,025 S (2R - S) [\text{кг}] \quad (\text{см. рис.2}). \quad (4)$$

Очевидно, что $M = f(S; R)$. Однако значений S, R множество (см. табл. I, 2). Оптимальные значения S и R , позволяющие определить минимальную массу конструкций, думается, возможно найти лишь выявив закономерности их распределения. Из уравнения (I) вытекает что

$$S = \frac{M_{\text{изг}}}{[\sigma]_{\text{изг}} \pi \cdot R^2} [\text{мм}]. \quad (5)$$

Обозначив $M_{\text{изг}} / [\sigma] \pi$ как α , получим зависимость

$$S = f(R), \quad \text{т.е. } S = \alpha / R^2. \quad (6)$$

Подставив (6) в (4), получим

$$M = 0,025 \frac{\alpha}{R^2} \left(2R - \frac{\alpha}{R^2} \right). \quad (7)$$

Исследуем эту зависимость. После преобразований (7) получим

$$M = \frac{0,05\alpha \cdot R}{R^2} - \frac{0,025\alpha^2}{R^4} = \frac{0,05\alpha \cdot R^3 - 0,025\alpha^2}{R^4}.$$

Отсюда вытекает, что

$$M = 0 \text{ при } \begin{cases} 1) \alpha = 0, \text{ т.е. } M_{\text{взг}} = 0 \\ 2) R = \sqrt[3]{0,5 \alpha} \\ 3) R \rightarrow \infty \end{cases}$$

Исследуем функцию (7) на экстремум. Экстремум функция достигает при

$$\frac{dM}{dR} = 0, \quad (8)$$

поэтому

$$\frac{dM}{dR} = \frac{6R^6 - 4R^3\alpha(2R^3 - \alpha)}{R^8} = 0. \quad (9)$$

После известных преобразований и, учтя, что по (2) $R \neq 0$, получим

$$6\alpha R^6 - 8\alpha R^6 + 4\alpha^2 R^3 = 0; \quad 4\alpha - 2R^3 = 0. \quad (10)$$

Отсюда

$$R = \sqrt[3]{2\alpha}. \quad (11)$$

Так как $\alpha > 0$ по схеме нагружения (см. рис. I), то при значении (II) функция $M = f(R)$ при $\alpha = \text{const}$, т.е. $M_{\text{взг}} = \text{const}$ достигает своего максимума.

Поэтому (7) можно представить в виде кривой I (см. рис. 3) Очевидно, что, задаваясь различными значениями α , т.е. $M_{\text{взг}}$ можно получить семейство кривых подобных I (2,3...). Если в формуле (4) принять $S = \text{const}$, то получим уравнение вида

$$M = \alpha R - \beta. \quad (12)$$

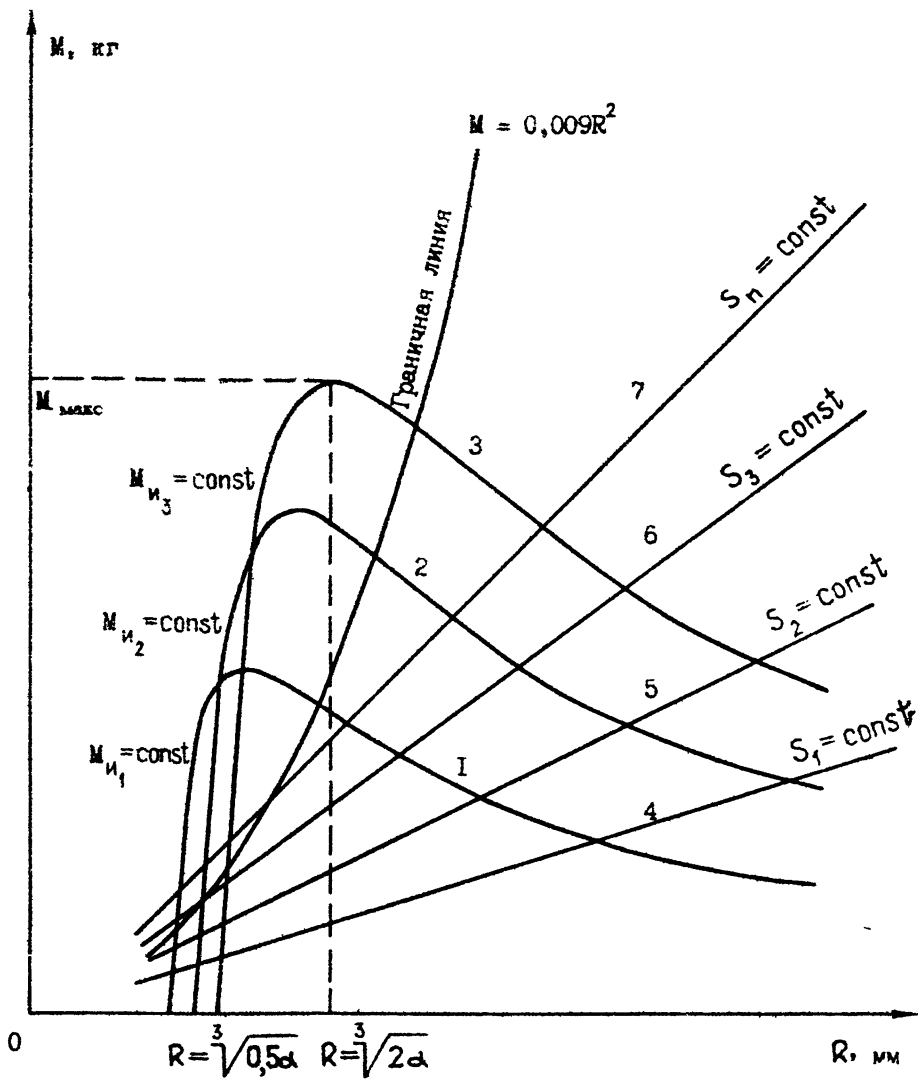


Рис. 3

Задаваясь различными значениями S , получим семейство прямых $M=f(R)$ при $S=\text{const}$ (4,5,6,7,...n). Таким образом, выявлены закономерности изменений и взаимовлияний основных характеристик конструкции: массы, диаметров и толщины стенки.

Однако, как было указано выше, не вся область, представленная на рис. 3, является рабочей для определения оптимальных параметров по формуле (2), но лишь та, где справедливо неравенство

$$S \leq 0,2 R. \quad (13)$$

Введя ограничения (13) в (14), получим

$$M = 0,025 \cdot 0,2 R (2R - 0,2R) = 0,009 R^2. \quad (14)$$

Это выражение представляет собой уравнение граничной линии, справа от которой лежит рабочая область поиска оптимальных параметров S, R, M (см. рис. 3).

Для проверки справедливости предпринятого теоретического исследования необходимо построить поле рабочих характеристик, охватывающее все многообразие размеров S и R , предлагаемых ГОСТ 8734-75 и ГОСТ 8732-78 (см. табл. 1,2).

Очевидно, что вручную графоаналитическим методом сделать это исключительно трудоемко. Поэтому все значения гостированных S и R , представленные выведенными зависимостями, были заложены для анализа в ЭВМ.

Для построения кривых по выведенным формулам на ЭВМ были введены следующие необходимые сведения:

1. Материал трубчатого сечения - сталь 20.

2. $[\sigma]_{\text{доп}}$ = 1700 кг/см².

3. Значения $\alpha = \frac{M_{\text{доп}}}{[\sigma]_{\text{доп}} \pi}$ сведены в табл. 3.

Пример выполнения расчета с использованием предлагаемой методики:

З а д а ч а: определить оптимальные параметры элемента конструкции трубчатого сечения S и R , нагруженного изгибающим моментом $M_{изг}$, обеспечивающие необходимую прочность конструкции при минимальном ее весе.

Р е ш е н и е:

1. На поле кривых постоянных изгибающих моментов находим значение $M_{изг}$. Эта кривая справа от граничной линии пересекает множество прямых с $S = const$. Введение запаса прочности соответствует переходу на новый более высокий уровень кривых $M_{изг} = const$.

2. Из конструктивных соображений выбираем гостированное значение или S , или R .

3. Сносим выбранное значение S или R на поле кривых и в точке пересечения кривой постоянного момента $M_{изг}$ с вертикалью $R = const$ находим значение толщины стенки, а на оси ординат соответствующее этой точке значение массы одного погонного метра трубы.

Уточняем значение S и R по ГОСТам и принимаем окончательное решение по выбору параметров поперечного сечения.

Затем производится проверка гибкости мачты с выбранными параметрами и при необходимости корректируются S и R по предлагаемой методике.

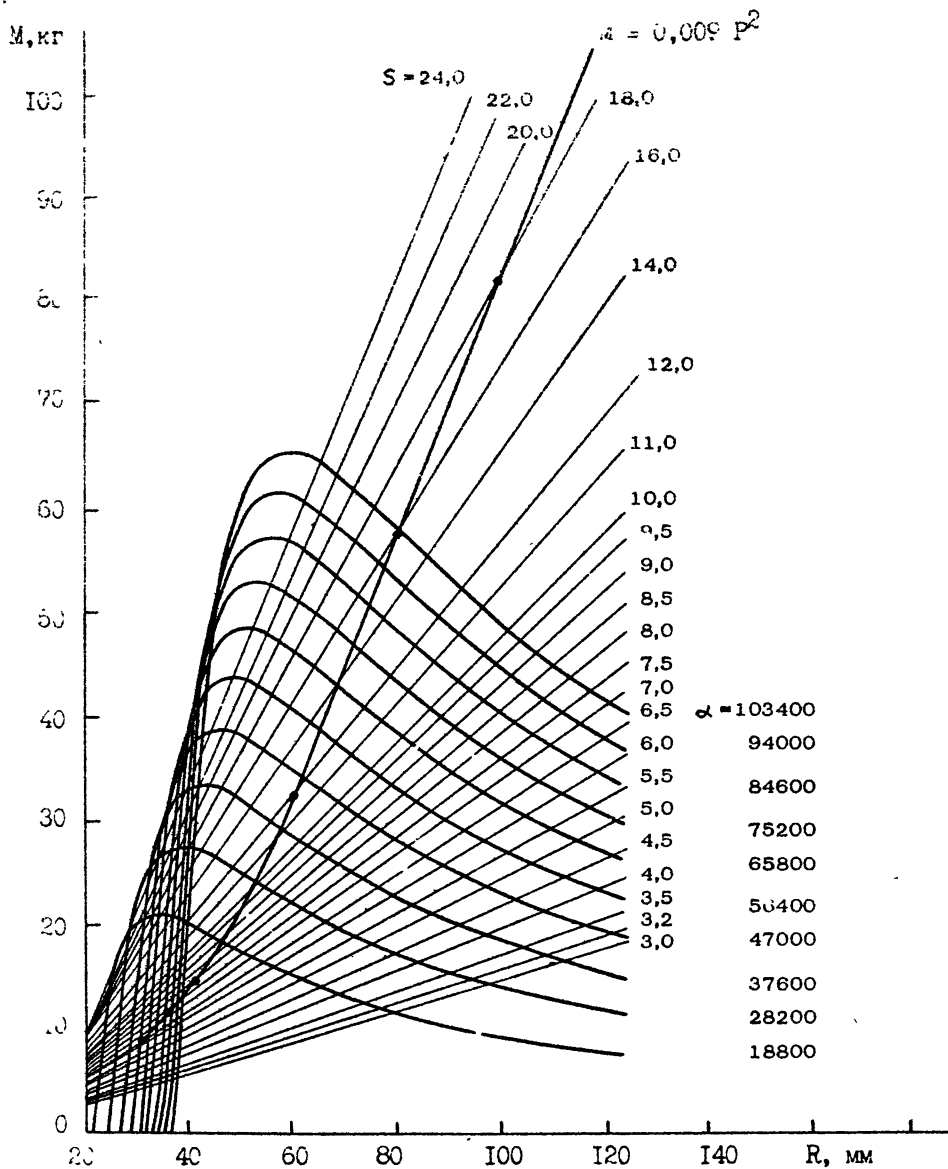


Рис. 4. График изменения весогабаритных характеристик материала по ГОСТ 8734-75

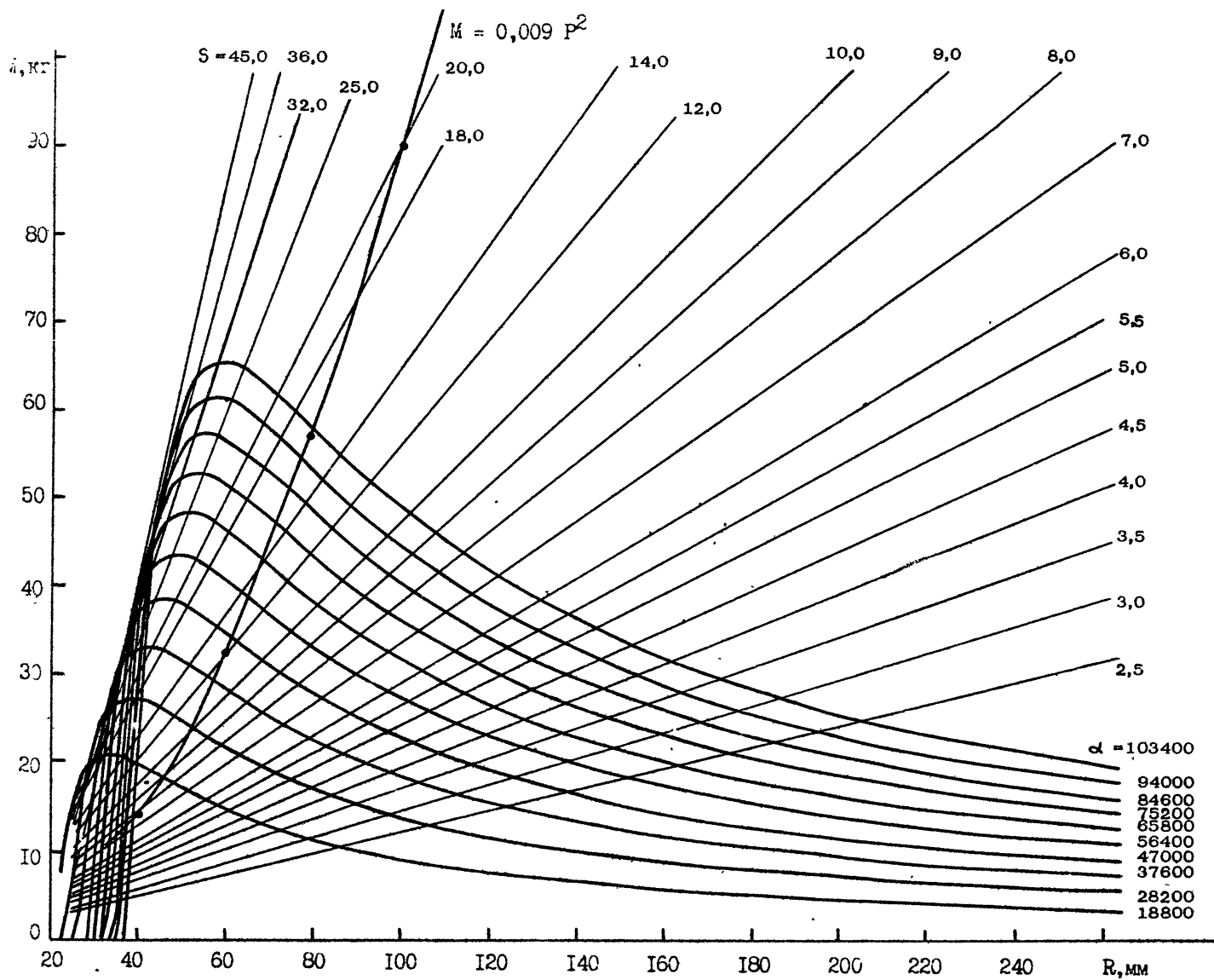


Рис. 5. График изменения весогабаритных характеристик материала по ГОСТ 8732-70

№ п/п	α [мм ³]	$M_{\text{изг}}$ [кг·м]
1	18800	$1,0 \cdot 10^3$
2	28200	$1,5 \cdot 10^3$
3	37600	$2,0 \cdot 10^3$
4	47000	$2,5 \cdot 10^3$
5	56400	$3,0 \cdot 10^3$
6	65800	$3,5 \cdot 10^3$
7	75200	$4,0 \cdot 10^3$
8	84600	$4,5 \cdot 10^3$
9	94000	$5,0 \cdot 10^3$
10	103400	$5,5 \cdot 10^3$

Результаты расчета на ЭВМ представлены на рис. 4, 5. Они хорошо согласуются с предпринятым выше анализом.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя.- М.: Машиностроение, 1979.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике.- М.: Наука, 1984.
3. Беляев В.Н. Сопротивление материалов.- М.: Высшая школа, 1976.
4. Иванов М.Н. Детали машин.- М.: Высшая школа, 1976.
5. Савицкий Г.А. Основы расчета радиомагн.- М.: Связьиздат, 1955.

Дата поступления статьи
16 апреля 1986г.

Дмитрий Иванович Образцов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕСОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОНСТРУКЦИЙ ТРУБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ**

Подписано в печать 19.06.86 г. МЦ 00911. Формат 60x84/16
Бумага многотельная. Печать офсетная. Объем 0,8 п.л. Тираж 120
Заказ 4435. Бесплатно

Отпечатано на ротационной НИРФИ