



УДК 624.074.4

Бадертдинов И.Р. – соискательE-mail: ilnar.badertdinov@gmail.com**Кузнецов И.Л.** – доктор технических наук, профессорE-mail: kuz377@mail.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Оптимальные геометрические параметры поперечного сечения трехгранных стальных опор

Аннотация

В статье рассматриваются стальные трехгранные решетчатые опоры с треугольной или раскосной решеткой. Для указанных опор получено аналитическое выражение массы. Из условия минимума массы получена формула для определения оптимальной высоты поперечного сечения. Для определения оптимального угла наклона раскосов опор треугольной и раскосной решеткой получены уравнения и приведены графики позволяющие определять указанные параметры.

Ключевые слова: трехгранная решетчатая опора, аналитическое выражение массы, оптимальная высота и оптимальный угол наклона раскосов.

В практике строительства стальных опор линий электропередачи, опор ветрогенераторных установок, опор для размещения светосигнального оборудования широко применяются решетчатые опоры [1, 4]. При этом наиболее рациональным типом сечения решетчатых опор являются опоры с трехгранным поперечным сечением [5, 6].

В работах [7, 8] показано, что расход стали зависит от геометрических параметров поперечного сечения. Поэтому для снижения расхода стали необходимо назначать оптимальное значение таких параметров как высота поперечного сечения, угол наклона раскосов.

Рассмотрим решетчатую опору трехгранного поперечного сечения (рис. 1).

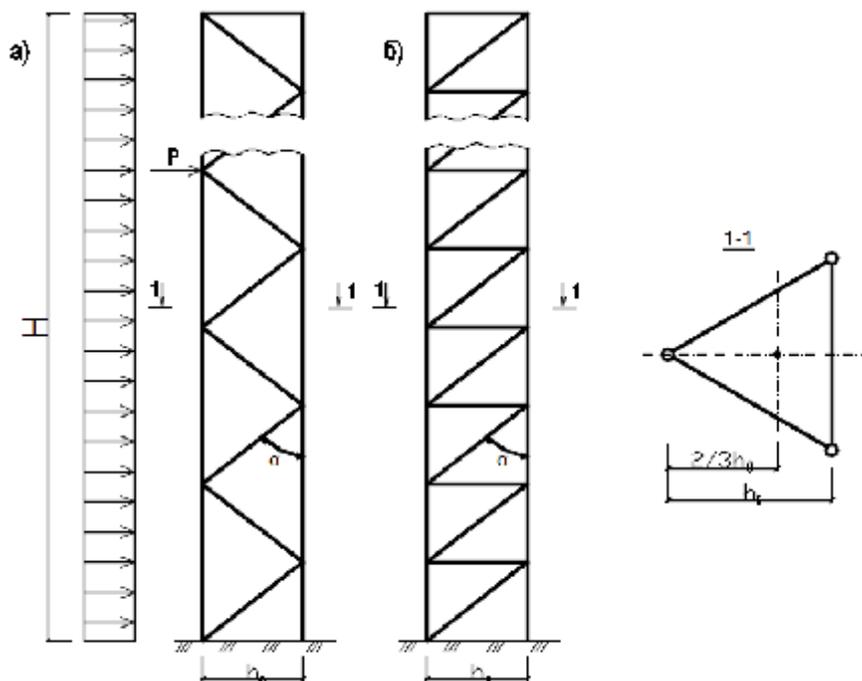


Рис. 1. Расчетная схема опоры треугольного поперечного сечения:
а) с треугольной решеткой; б) с раскосной решеткой

Для указанной опоры в работе [8] автором получено в общем виде аналитическое выражение ее массы, которое записывается так:

$$G = \gamma_{TP} \times g \times H \times \left[\frac{y_{II}}{R_y \times g_c} \times N + \frac{3M}{h_0} + \frac{3 \times n \times k_{II} \times R_y \times g_c \times h_0^2}{m^2} \times \dot{u} + 3 \times y_P \times C \times h_0^2 \times \ddot{u} \right] \quad (1)$$

Здесь Ψ_{TP} – конструктивный коэффициент массы треугольной опоры; Ψ_{II} – конструктивный коэффициент массы поясов опоры; γ – плотность стали; H – высота опоры; R_y – расчетное сопротивление стали; γ_c – коэффициент условия работы поясов опоры; N – продольное усилие в опоре; M – значение изгибающего момента; h_0 – высота поперечного сечения опоры; $n=1$ для опоры с раскосной решеткой; $n=2$ – для опор с треугольной решеткой; k_{II} – коэффициент учитывающий продольный изгиб; $m=\text{tg}\alpha$, где α

$$C = \frac{m^2}{n_c \times \lambda_{пред}}$$

– угол наклона раскоса; Ψ_P – конструктивный коэффициент массы решетки; где μ – коэффициент приведения расчетной длины; $\lambda_{пред}$ – предельное значение гибкости

$$\chi = \frac{(1+m^2) \times \sqrt{1+m^2}}{m^2}$$

– для опор с треугольной решеткой;

$$\chi = \frac{(m + \sqrt{1+m^2}) \times (1+m^2)}{m^2}$$

– для опор с раскосной решеткой.

В выражение массы опоры присутствует высота поперечного сечения (h_0) и угол наклона раскоса (α), задаваемый как $m=\text{tg}\alpha$. Поэтому для нахождения оптимальной высоты сечения опоры (h_{opt}) необходимо взять производную, т.е. $dG/dh=0$, откуда:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{y_{II} \times n^2 \times M}{2 \times g_c \times R_y \times (n \times k_{II} + y_P \times m^2 \times C)}} \quad (2)$$

На рис. 2 приведен график зависимости массы от высоты поперечного сечения опоры. График составлен для примера в табл.

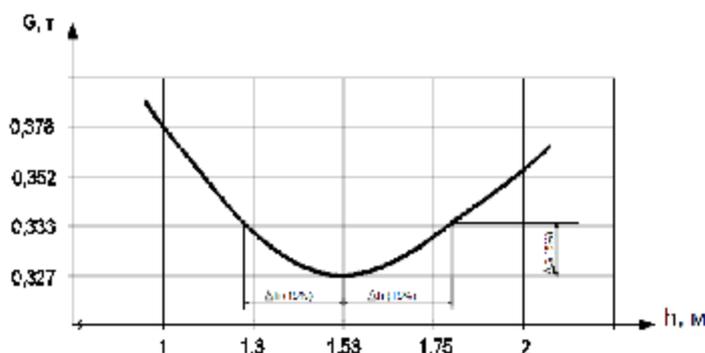


Рис. 2. График зависимости массы опоры от высоты поперечного сечения

Таблица параметров для рассмотренного примера.

Таблица	
Высота опоры H	20 м
Эквивалентная равномерно распределенная ветровая нагрузка	50 кг/м
Сосредоточенная горизонтальная нагрузка на высоте 15 м	300 кг
Опора выполнена из стали класса с треугольной решеткой	C245
Сечение элементов опор	стальная труба
$\Psi_{TP}=1,1; \Psi_{II}=1,05; \Psi_P=1,05; n=2; R_y=2450 \text{ кг/см}^2; \gamma_c=1; \xi=2,828;$ $k_{II}=3,2 \times 10^{-5}; m=1; n_c=1; c=0,66 \times 10^{-5}; M_{max}=14,5 \text{ т*м}; h_{opt}=153 \text{ см (при } m=1)$	

Из графика (рис. 2) следует, что отклонение высоты сечения опоры от оптимального значения на ±15 % изменяет массу опоры на 5 %. Это позволяет при назначении окончательной высоты сечения опоры применить ее с учетом других технологических факторов.

Другим геометрическим параметром, влияющим на массу опоры, является угол наклона раскосов. Оптимальное значение этого параметра найдем, также взяв производную по массе опоры (1) подставив в ее значение ξ. Из решения уравнений полученных из условия dG/dm=0 получим уравнения для нахождения оптимального значения угла наклона раскосов, а именно:

- для опор с треугольной решеткой:

$$(m^2 - 2)(\sqrt{m^2 + 1}) - A_1 = 0; \tag{3}$$

- для опор с раскосной решеткой:

$$(m^2 - 2)(\sqrt{m^2 + 1}) + m(m^2 - 1) - A_1 = 0, \tag{4}$$

здесь

$$A_1 = \frac{y_{\Pi} n k_{\Pi}}{y_p C}. \tag{5}$$

Для практических расчетов оптимальный угол наклона раскосов целесообразно выполнить по приведенным графикам (рис. 3-4).

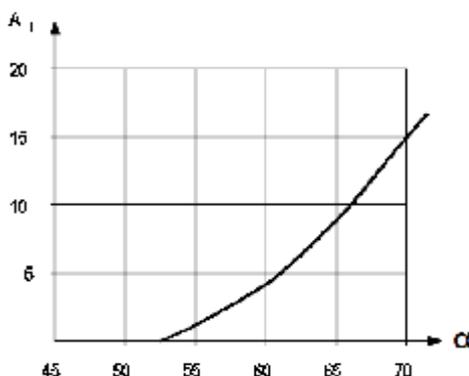


Рис. 3. График для определения оптимального угла наклона для опор с треугольной решеткой

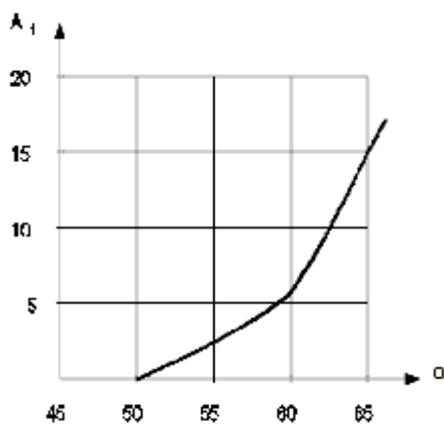


Рис. 4. График для определения оптимального угла наклона для опор с треугольной решеткой

Для рассмотренной в таблице опоры значение $A_1=9,7$, поэтому значение оптимального угла наклона согласно приведенных графиков для опор с треугольной решеткой равно $\alpha_{\text{опт}}=68^\circ$, а для опор с раскосной решеткой $\alpha_{\text{опт}}=63^\circ$. Оптимальная высота сечения при оптимальном угле наклона раскоса 68° против 45° как в примере с 153 см до 149 см.

Выводы

Получена формула для определения оптимальной высоты опор треугольного поперечного сечения. Для определения оптимального угла наклона раскосов получены аналитические условия и графики.

Список библиографических ссылок

1. Кузнецов В.В. Металлические конструкции. В 3 т., Т. 3. – М.: изд-во АСВ, 1999. – 528 с.
2. Сабитов Л.С., Хамидуллин И.Н. Оптимальные стальные многогранные опоры воздушных линий электропередачи // Сборник материалов конференции молодых ученых «Молодежь и инновации Татарстана» 22-23 октября 2015 г. – С. 35-38.
3. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Хамидуллин И.Н. Разработка и исследование опор для ветрогенераторных установок. // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – Воронеж, № 2 (38). – С. 34-40.
4. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Бадертдинов И.Р. Разработка и исследование решетчатых трехгранных опор // Материалы 14-ой международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2014. – С. 15-17.
5. Патент РФ № 2378469. Трехгранная решетчатая конструкция // Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С., Бадертдинов И.Р. МПК E04H12/10. Бюл. № 1 от 10.01.2008.
6. Патент РФ по заявке № 2015105647/03. Трехгранная решетчатая опора. // Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С., Бадертдинов И.Р. Положительное решение от 15.01.2016.
7. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Пеньковцев С.А. Выбор рационального типа поперечного сечения опор // Приволжский научный журнал, 2014, № 4 (32). – С. 90-94.
8. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Бадертдинов И.Р. К вопросу о рациональном типе поперечного сечения опор // Энергетика Татарстана, 2016, № 1. – Казань. – С. 47-51.

Badertdinov I.R. – researcher

E-mail: ilnar.badertdinov@gmail.com

Kuznetsov I.L. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Optimal geometrical parameters of trihedral steel support's cross section

Resume

The article deals with steel triangular lattice towers with a triangular or diagonal bar for the construction of supports of transmission lines, poles wind generator installations, supports for the placement of lighting equipment. For these constructions have become consumption depends on the geometric parameters of cross-section. Therefore, to reduce the consumption of steel must be assigned the optimal value of parameters such as the height of the cross-section, angle braces. For these supports an analytical expression of the masses. From the condition of a minimum weight a formula for determining the optimal height of the cross-section triangular lattice towers received. The equations and the graphs allow to determine these parameters to determine the optimal tilt angle braces and supports a triangular lattice truss. The value of the optimal angle for the supports with a triangular lattice is $\alpha_{opt} = 68^\circ$, and for bearings with diagonal bars $\alpha_{opt} = 63^\circ$.

Keywords: trihedral support; analytical expression of weight; bracings's optimal height and angle of an inclination.

Reference list

1. Kuznetsov V.V. Metal Constructions. The 3 volumes, Vol. 3. – M.: Publishing House DIA, 1999. – 528 p.
2. Sabitov L.S., Khamidullin I.N., Optimal steel multifaceted supports of overhead lines elektroperdachi. // Collection of materials of the conference of young scientists «Youth and Innovation Tatrstana» October 22-23, 2015. – P. 35-38.
3. Sabitov L.S., Kuznetsov I.L., Khamidullin I.N. Development and research of supports for wind generator systems // Scientific Bulletin VGASU. Construction and architecture. – Voronezh, № 2 (38). – P. 34-40.
4. Sabitov L.S., Kuznetsov I.L., Badertdinov I.R. Development and research of grid triangular supports. // Proceedings of the 14th International Scientific and Technical Conference «Effective constructions: theory and practice». – Penza, 2014. – P. 15-17.
5. RF Patent № 2378469. Trihedral latticework // Kuznetsov I.L., Sabitov L.S., Badertdinov I.R. IPC E04H12 / 10. Bul. № 1 from 10.01.2008.
6. RF patent under the application № 2015105647/03. Triangular lattice towers. // Kuznetsov I.L., Sabitov L.S., Badertdinov I.R. A positive decision from 01.15.2016.
7. Sabitov L.S., Kuznetsov I.L., Penkovtsev S.A. Choosing the type of cross-section management supports // Volga scientific journal, 2014, № 4 (32). – P. 90-94.
8. Sabitov L.S., Kuznetsov I.L., Badertdinov I.R. On the question of the rational type of cross-section of support // Power of Tatarstan, № 1. – Kazan, 2016. – P. 47-51.