УДК.624.014:624.074.4
Салахутдинов М.А. – аспирант
E-mail: lider-kazann@yandex.ru
Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор
E-mail: kuz377@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Оптимизация параметров нового конструктивного решения стального каркаса многопролетного здания

Аннотация

В статье рассматривается новое конструктивное решение стального каркаса многопролетного здания. Отличительной особенностью предлагаемого решения является отсутствие подстропильных ферм и вертикальных связей. Несущая конструкция в этом случае представляет собой V-образные колонны, распорки между ними и стропильные фермы. Для предлагаемой схемы каркаса составлено аналитическое выражение массы и решена задача нахождения оптимального угла наклона ветвей V-образных колонн по критерию минимума массы. Приводится численный пример нахождения оптимального угла наклона ветвей колонны.

Ключевые слова: стальной каркас, многопролетное здание, оптимальные параметры.

В работе [1] показано, что одним из направлений в совершенствовании конструктивной формы многопролетных легких зданий является использование вместо подстропильных ферм подкосно-балочной конструкции. В статье рассматривается дальнейшее развитие указанной выше конструктивной схемы легкого каркаса многопролетного здания.

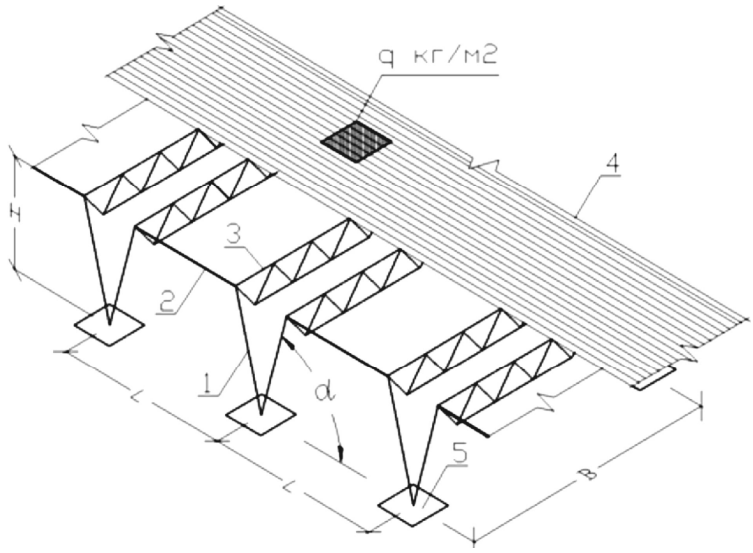

Рис. 1. Фрагмент конструктивной схемы многопролетного здания:
1 – V-образная колонна; 2 – распорка; 3 – стропильная ферма;
4 – профилированный стальной настил; 5 – фундамент

Отличие новой конструкции стального каркаса (рис. 1) состоит в том, что в продольном направлении здания балочно-подкосная система заменена V-образными колоннами 1, по оголовкам которых между ветвями соседних колонн установлены распорки 2. В поперечном же направлении на оголовки ветвей всех колонн уложены стропильные фермы 3. По верхним поясам стропильных ферм уложен и прикреплен стальной профилированный настил 4 с образованием жесткого диска по покрытию. Эффективность предлагаемой конструктивной схемы многопролетного здания достигается при назначении оптимальных параметров, в частности оптимального угла наклона ветвей V-образных колонн.

Поэтому рассмотрим типовую ячейку многопролетного здания размерами L x B, высотой H и загруженную расчетной нагрузкой q (рис. 1) и запишем её массу, которая равна:

$$G = 4G_к + 2G_р + G_н + 2G_ф, \quad (1)$$

где $G_к$ – масса одной ветви колонны; $G_р$ – масса распорки; $G_н$ – масса профилированного настила при многопролетной укладке; $G_ф$ – масса стропильной фермы.

Масса ветви колонны при действующей нагрузке q (кг/м^2) равна:

$$G_к = \psi_к \cdot \gamma \cdot \frac{H}{\sin б}\left(\frac{N_k}{R_y \cdot \gamma_c} + K_a \cdot \left(\frac{H}{\sin \alpha}\right)^2\right). \quad (2)$$

Здесь $\psi_к$ – конструктивный коэффициент колонны; γ – плотность стали; α – угол наклона ветви колонны; R_y – расчетное сопротивление стали; γ_c – коэффициент условия работы; H – высота верха колонны; $N_к$ – усилие в ветви колонны; K_a – коэффициент, равный:

$$K_a = \frac{1{,}9 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_k^2 \cdot R_y\ [т\backslash см^2]}{n_c^k}, \quad (3)$$

где μ_k – коэффициент приведения расчетной длины колонны; $n_c^k = i_{min}^2/A$ – коэффициент, зависящий от типа сечения профиля; i_{min} – минимальный радиус инерции; A – площадь сечения.

Масса распорки равна:

$$G_р = \gamma \cdot \psi_р \cdot \left(L - \frac{2 \cdot H}{\tan \alpha}\right)\left(\frac{N_р}{R_y \cdot \gamma_c} + K_р \cdot \left(L - \frac{2 \cdot H}{\tan \alpha}\right)^2\right). \quad (4)$$

Здесь $\psi_р$ – конструктивный коэффициент; γ – плотность стали; α – угол наклона ветви колонны; R_y – расчетное сопротивление стали; H – высота верха колонны; $N_р$ – усилие в распорке; $K_р$ – коэффициент, равный:

$$K_р = \frac{1{,}9 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_р^2 \cdot R_y\ [т\backslash см^2]}{n_c^р}, \quad (5)$$

где $\mu_р$ – коэффициент приведения расчетной длины распорки; $n_c^k = i_{min}^2/A$ – коэффициент, зависящий от типа сечения профиля; i_{min} – радиус инерции; A – площадь сечения.

Масса стального настила:

$$G_н = \psi_н \cdot \gamma \cdot \frac{M}{\rho \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot L \cdot B, \quad (6)$$

где $\mu_н$ – конструктивный коэффициент настила; M – расчетный изгибающий момент; $\rho = W/A$ – ядровое расстояние для профилированного настила; W – момент сопротивления сечения; A – площадь сечения.

Масса стропильных ферм может быть записана как масса сжатых и растянутых элементов [2].

В данной статье рассматриваются решения, в которых используются наиболее распространенные стропильные фермы по серии «Молодечно» [3]. Для ферм этой серии можно найти аналитически выражение их массы:

$$G_ф = k_ф \cdot q \cdot B \cdot \frac{L}{2}, \tag{7}$$

где $k_ф$ – коэффициент, равный 0,0215, 0,03489, 0,05025 для ферм 18 м, 24 м и 30 м, соответственно; q – нагрузка на 1м^2 покрытия; B – пролет ферм; L – расстояние между опорами колонн.

Значение усилий в элементах предлагаемого каркаса равно:

- усилие в ветви колонны:

$$N_k = \frac{L \cdot B \cdot q + 2G_ф}{2\sin\alpha}, \tag{8}$$

- изгибающий момент в профилированном настиле:

$$M = k \cdot q \cdot l_н^2, \tag{9}$$

где k – коэффициент, зависящий от схемы опирания профилированного настила; $l_н$ – пролет профилированного настила.

- усилие в распорке:

$$N_p = \frac{L \cdot B \cdot q + 2G_ф}{2\tan\alpha}, \tag{10}$$

Окончательное выражение массы типовой ячейки получаем подставив в (1) значения массы колонн (2), распорок (4), профилированного настила (6) и стропильных ферм (7), а также значений расчетных усилий (8), (9) и (10).

Оптимальное значение угла наклона ветвей колонны определяем из условия $dG/d\alpha = 0$, которое приводит к решению уравнения:

$$\frac{dG}{d\alpha} = \frac{4 \cdot \psi_р \cdot \gamma \cdot H \cdot \left[K_р \cdot \left(L - \frac{2 \cdot H}{\tan\alpha}\right)^2 + \frac{N_p}{R_y \cdot \gamma_c}\right] \cdot \left(\tan^2\alpha + 1\right)}{\tan^2\alpha} - \frac{8 \cdot \psi_к \cdot \gamma \cdot H^3 \cdot K_a \cdot \cos\alpha}{\sin^4\alpha} -$$
$$- \frac{4 \cdot \psi_к \cdot \gamma \cdot H \cdot \cos\alpha \cdot \left(\frac{N_k}{R_y \cdot \gamma_c} + \frac{K_a \cdot H^2}{\sin^2\alpha}\right)}{\sin^2\alpha} + \frac{8 \cdot \psi_р \cdot \gamma \cdot K_р \cdot H \cdot \left(\tan^2\alpha + 1\right) \cdot \left(L - \frac{2 \cdot H}{\tan\alpha}\right)^2}{\tan^2\alpha} \tag{11}$$
$$+ \frac{4 \cdot \psi_н \cdot \gamma \cdot L \cdot B \cdot H \cdot q \cdot k \cdot \left(\tan^2\alpha + 1\right) \cdot \left(L - \frac{2 \cdot H}{\tan\alpha}\right)}{R_y \cdot \gamma_c \cdot \rho \cdot \tan^2\alpha} = 0.$$

Решение уравнения (11) в прямом виде не представляется возможным. Поэтому решение выполняем численными методами, например в ПК «Excel».

В качестве примера рассмотрим здание с размерами типовой ячейки L = 12 м, B = 18 м и высотой верха колонны H = 8,6 м, варьируя при этом углом наклона α ветви колонны. Расчетная нагрузка на покрытие принимается 520 кг/м^2. Принимаем для ветвей колонны и для распорок сечение из круглой трубы по ГОСТ 10704-91. Выбираем двухпролетную укладку профилированного настила. Алгоритм данного расчета реализуется на ПК «Excel». Входные и выходные данные представлены в таблице. График зависимости массы типовой ячейки от угла наклона ветви колонны показан на рис. 2.

Таблица

Входные и выходные параметры в ПК «Excel»

№ п/п	Обозначение параметра	Наименование параметра	Значение
Входные параметры			
1	L	Расстояние между опорами ветвей колонн, м	12
2	B	Шаг конструкций, м	18
3	H	Высота здания, м	8,6
4	q	Расчетная нагрузка на покрытие, кг/м^2	520
5	R_y	Расчетное сопротивление стали, кг/м^2	24500000
6	γ	Плотность стали, кг/м^3	7850
7	ψ_k	Конструктивный коэффициент колонны	1,084
8	ψ_p	Конструктивный коэффициент распорки	1,124
9	$\psi_н$	Конструктивный коэффициент стального профилированного настила	1,035
10	μ_k	Коэффициент расчетной длинны колонны	2
11	μ_p	Коэффициент расчетной длинны распорки	1
12	γ_c^k	Коэффициент условия работы колонны	0,95
13	γ_c^p	Коэффициент условия работы распорки	1
14	$\gamma_c^н$	Коэффициент условия работы стального профилированного настила	1
15	$k_ф$	Коэффициент для стропильных ферм	0,0215
16	α	Угол наклона ветви колонны	Переменное
Выходные параметры			
1	Таблица	Результаты вычислений массы G типовой ячейки для выбранного интервала углов наклона α ветви колонны	
2	Графически	График зависимости массы типовой ячейки от угла наклона ветви колонны	

По результатам приведенных выше вычислений видно, что наименьшая масса конструкций (G = 9753 кг) достигается при угле наклона ветви колонны α = 72˚. Удельный расход стали на несущий каркас здания в этом случае равен 45,2 кг/м^2. Рассматривая другие варианты сечений элементов каркаса, значение угла наклона ветвей колонны изменяется в пределах 67-73˚. Экономия стали в сравнении с известной конструктивной схемой «Молодечно» составляет 16-21 %.

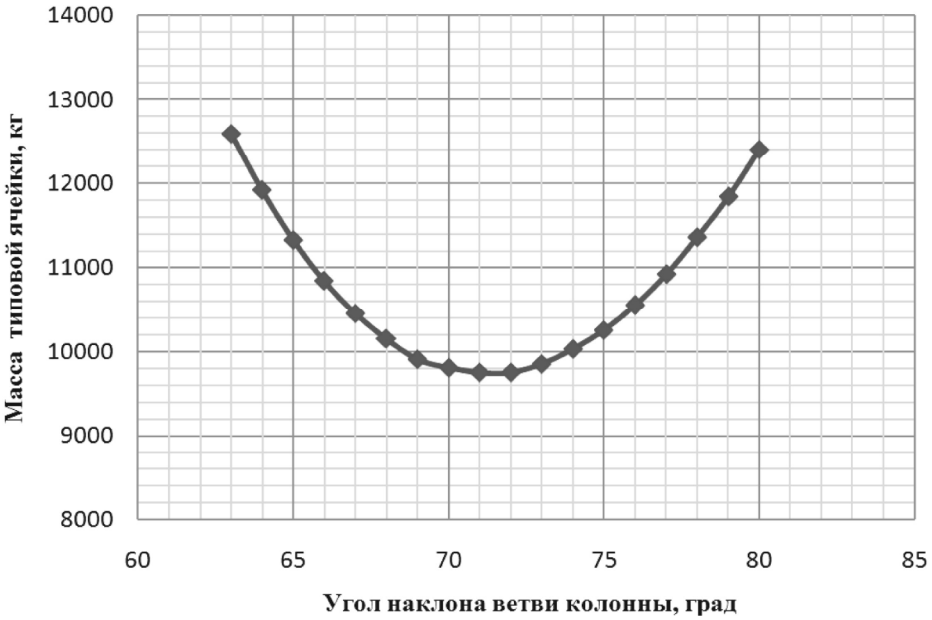

Рис. 2. График зависимости массы типовой ячейки от угла наклона ветви колонны

Выводы:

1. Проведенные исследования нового конструктивного решения стального каркаса многопролетного здания показали, что схема каркаса достаточно эффективна и при оптимальном угле наклона ветвей колонны, находящемся в пределах 67-73˚, обеспечивается снижение расхода стали в сравнении с известной конструктивной схемой «Молодечно» на 16-21 %.
2. Дальнейшее снижение массы рассматриваемого каркаса многопролетного здания возможно путем оптимизации числа ячеек и определением значений L и B, а также изменением решения каркаса в поперечном направлении.

Список литературы

1. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Гимранов Л.Р. Новые конструктивные решения стальных каркасов легких многопролетных зданий. // Известия КГАСУ, 2011, № 1 (15). – С. 88-92.
2. Бакиев М.В., Сафин Р.К. Определение оптимальной высоты стропильных ферм с параллельными поясами. // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1975, № 4. – С. 9-12.
3. Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно». Чертежи КМ. Серия 1.460.3-14/90. Выпуск 3. – М., 1982. – 136 с.

Salakhoutdinov M.A. – post-graduate student
E-mail: lider-kazann@yandex.ru
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

Optimization of the parameters of a new structural solution of steel frame of multispan building

Resume

Demand in the construction of buildings of shopping and entertainment destination, logistics centers synthesize their particular structural form with the use of light steel structures. The proposed design scheme is finalizing the design solutions of known light industrial buildings, for example, type «Molodechno». Differences in the design decisions of the buildings due to the specifics of building a shopping and entertainment destination, namely, their considerable length in both directions, lack of crane loads, a big step placement of columns and a minimum number of braces, ensuring the freedom of planning. In this regard, the paper deals with a new structural solution of multispan building frames from steel constructions. A distinctive feature of the proposed solution is the lack of secondary trusses and vertical bracing. The bearing construction in this case is a V-shaped columns and struts in between and trusses. For the proposed scheme, an analytical expression of mass is composed. The finding of the optimal angle of inclination of the branches of the V-shaped column on the criterion of minimum value of constructions weight is solved. A numerical example of finding the optimal angle of inclination of the branches of the column is given.

Keywords: steel frame, multispan building, the optimal parameters.

References

1. Kuznetsov I.L., Salakhoutdinov M.A., Gimranov L.R. New structural solutions of steel frames of light multispan buildings. // News of the KSUAE, 2011, № 1 (15). – P. 88-92.
2. Bakiev M.V., Safin R.K. Determining the optimum height of trusses with parallel chords. // News of the KSUAE. Construction and architecture, 1975, № 4. – P. 9-12.
3. Steel constructions of covering of industrial 18, 24 and 30 span buildings with application of rectangular section by type «Molodechno» from closed roll-welded profiles. Drawings MK. Series 1.460.3-14/90. Publication 3. – M., 1982. – 136 p.