

УДК 624.04

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОКРЫТИЯ СТАДИОНА

Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, Д.И. Назаренко

Рассматривается регулирование усилий и перемещений в элементах пространственного покрытия каркаса стадиона способом изменения жесткости.

Ключевые слова: рациональное проектирование; пространственное покрытие; регулирование усилий; радиальные стальные фермы.

FORCE CONTROL IN THE ELEMENTS OF THE TRIDIMENSIONAL ROOF OF STADIUM

G.M. Kravchenko, E.V. Trufanova, D.I. Nazarenko

The article considers searching for a force and motion control in the elements of the tridimensional roof of the stadium's frame by changing variants of stiffness.

Keywords: intelligent design; tridimensional roof; force control; radial steel roof trusses.

Рациональное проектирование является важной задачей современной строительной отрасли. При помощи регулирования усилий можно решать практические задачи различной сложности и направленности [1].

Регулирование усилий и перемещений в элементах каркаса здания на этапе проектирования является одной из задач рационального проектирования. При регулировании усилий обычно ставится условие достижения равного сопротивления в нескольких наиболее напряженных сечениях.

Способом регулирования в данном исследовании является регулирование усилий и перемещений в элементах структурного покрытия пространственного каркаса стадиона изменением его жесткости. При выборе расчетной схемы необходимо учесть вид сооружения, его назначение, сочетание нагрузок, действующих на элементы пространственного каркаса, способы соединения между собой элементов покрытия.

Исследуемый объект представляет собой уникальное сооружение, состоящее из шести надземных ярусов с трибунами на 40000 мест и одного подземного яруса, выполненных из монолитного железобетона [2]. Габариты сооружения в плане 239,4×269,4 м, максимальная отметка по высоте +38,100. Сооружение имеет сложную обтекае-

мую форму с изменяющимися геометрическими и высотными отметками козырька над трибунами и стенового фахверка (рисунок 1).

Основные несущие конструкции покрытия – радиальные стальные фермы, опертые на железобетонные трибуны. Фермы имеют высоту до 7,3 м и вылет консоли от 30 до 50,3 м, что позволяет классифицировать сооружение как уникальное (Градостроительный кодекс РФ, ст. 48.1, п. 2) [3].

Конструкции покрытия в целом представляют собой сложную систему, состоящую из ферм, кольцевых вертикальных и горизонтальных связей по верхним и нижним поясам ферм, опорных стоек и прогонов (рисунок 2).

Для исследования выбран фрагмент покрытия, состоящий из трех ферм, связей и прогонов. Расчетная пространственная конечно-элементная модель выполнена в программном комплексе ЛИРА-САПР [4]. Конструкция смоделирована с использованием конечных элементов пространственной фермы КЭ 4 с шестью степенями свободы. В местах опирания ферм на железобетонные трибуны наложены связи по X, Y и Z, поскольку эти узлы замоноличиваются и являются жесткими. В узлах ферм, соединенных с остальными частями покрытия, приложены связи по Y, что позволяет рассматривать фрагмент отдельно от всей конструкции покрытия (рисунок 3).

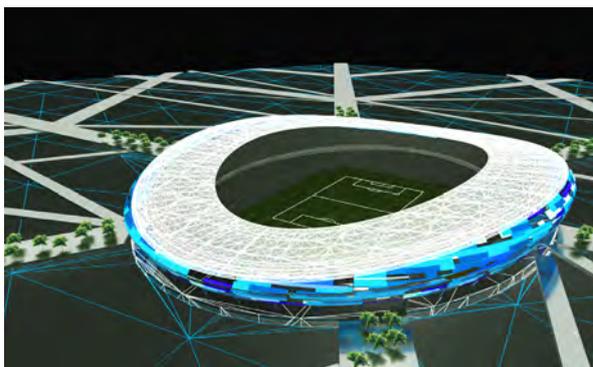


Рисунок 1 – Визуализация модели стадиона

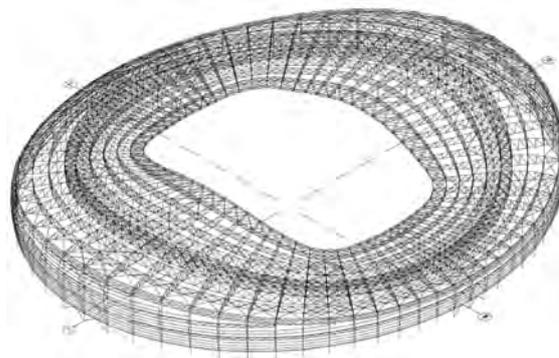


Рисунок 2 – Аксонометрия металлических конструкций стадиона

В расчетной схеме учтены следующие виды нагрузок: постоянные нагрузки (вес несущих и несущих элементов покрытия), кратковременная нагрузка (снеговая) (СП 20.13330.2011) [5].

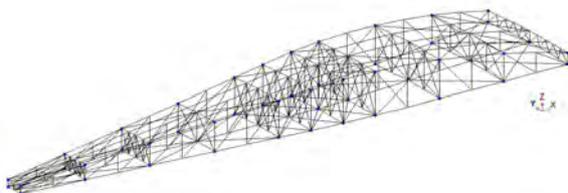


Рисунок 3 – Расчетная схема фрагмента покрытия

В качестве первого варианта моделирования элементов ферм (нижний и верхний пояс) были предложены трубы электросварные прямошовные – 426×7 , элементы решетки и связи – 377×7 . Прогоны моделировались двутаврами с параллельными гранями полок балочного типа 45Б2.

Для второго варианта модели в качестве прогонов покрытия был предложен короб из широкополочных двутавров 35Ш3 с параллельными гранями полок. Сечения ферм и связей не изменялись.

В третьей модели фрагмента пространственного покрытия были использованы прогоны из двутавра с параллельными гранями полок балочного типа 45Б2, фермы и связи из гнутых сварных прямоугольных профилей “Молодечно”: элементы нижнего пояса – $350 \times 300 \times 7$, элементы верхнего пояса – $350 \times 250 \times 7$, решетка – $300 \times 200 \times 7$, связи – $350 \times 300 \times 7$.

Четвертая модель состоит из прогонов (двутавр с параллельными гранями полок балочного типа 45Б2), ферм (составной квадратный короб из листового горячекатаного проката: нижний пояс – пояс короба 280×6 , стенка короба 280×6 ; верхний пояс – пояс короба 240×6 , стенка короба 210×6 ; элементы решетки – пояс и стенка короба выпол-

нены из листа 200×6 ; связи – пояс и стенка короба из листа 300×6).

Рассмотрены максимальные и минимальные значения продольных сил в фрагментах конструкции, нагрузки от собственного веса (таблицы 1–4), прогибы [6].

Максимальный прогиб равен 219 мм, при допустимом значении 335 мм (СП 20.13330.2011, прил. Е.2.1) (рисунок 4).

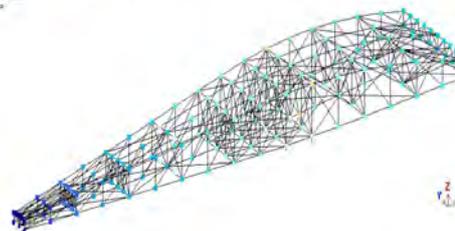


Рисунок 4 – Перемещения по оси Z (первый вариант конструирования)

Максимальное перемещение по оси Z составило 218 мм (рисунок 5).

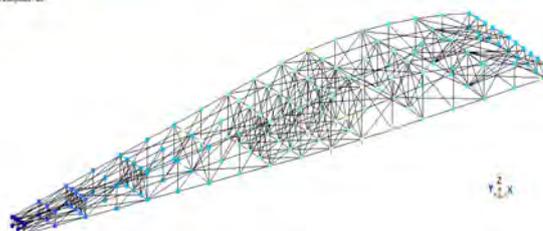


Рисунок 5 – Перемещения по оси Z (второй вариант конструирования)

Максимальный прогиб – 229 мм, что не превышает допустимых 335 мм (рисунок 6).

Таблица 1 – Результаты анализа (первый вариант конструирования)

Элементы Параметры	Прогоны	Нижний пояс	Верхний пояс	Элементы р- сетки	Связи
Р (т*м)	0,071	0,076	0,076	0,067	0,067
N (т)	95,3 -12,4	16,1 -106	127 -3,84	46,8 -65,8	65,6 -121

Таблица 2 – Результаты анализа (второй вариант конструирования)

Элементы Параметры	Прогоны	Нижний пояс	Верхний пояс	Элементы р- сетки	Связи
Р (т*м)	0,064	0,076	0,076	0,067	0,067
N (т)	92,6 -12,5	16,3 -106	128 -3,78	46,7 -65,5	65,4 -122

Таблица 3 – Результаты анализа (третий вариант конструирования)

Элементы Параметры	Прогоны	Нижний пояс	Верхний пояс	Элементы р- сетки	Связи
Р (т*м)	0,071	0,072	0,066	0,055	0,072
N (т)	98,8 -17	14,2 -102	121 -4,21	46,2 -60,1	73,1 -119

Таблица 4 – Результаты анализа (четвертый вариант конструирования)

Элементы Параметры	Прогоны	Нижний пояс	Верхний пояс	Элементы р- сетки	Связи
Р (т*м)	0,071	0,056	0,045	0,0395	0,059
N (т)	97,9 -19,9	12,3 -87,9	101 -4,26	41,3 -48,6	72,3 -107

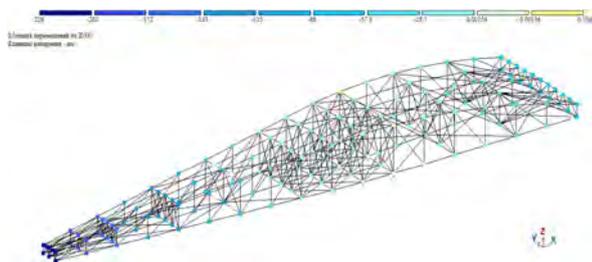


Рисунок 6 – Перемещения по оси Z (третий вариант конструирования)

Максимальное перемещение по оси Z составило 264 мм (рисунок 7).

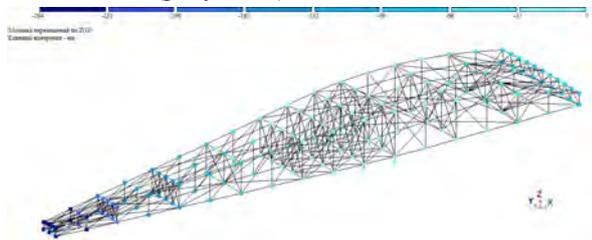


Рисунок 7 – Перемещения по оси Z (четвертый вариант конструирования)

Выполнен анализ результатов расчета в сравнении с первой моделью.

Характерные отличия второго варианта моделирования: масса прогонов уменьшилась на 9,9 % при изменении продольных усилий не более чем на 3 %.

Отличительные особенности третьего варианта моделирования:

- в прогонах сжимающие усилия увеличились на 37 %;
- в нижнем поясе растягивающие усилия увеличились на 11,8 %;
- масса элементов верхнего пояса уменьшилась на 13 %, в элементах решетки – на 17,9 %;
- растягивающие усилия в связях увеличились на 11,4 %.

Сравнение четвертого варианта моделирования:

- в прогонах сжимающие усилия увеличились на 60,5 %;
- в нижнем поясе положительные усилия уменьшились на 23,6 %, отрицательные уменьшились на 17,1%, собственный вес стал меньше на 26 %;
- в верхнем поясе положительные значения уменьшились на 20,5 %, отрицательные увеличились на 10,9 %, собственный вес элементов верхнего пояса уменьшился на 40,8 %;

- в элементах решетки сжимающие усилия стали меньше на 11,8 %, положительные – на 26 %, собственный вес стал меньше на 41 %;
- в связях растягивающие усилия увеличились на 10,2 %, сжимающие уменьшились на 11,5 %, собственный вес связи уменьшился на 45,3 %.

Первый вариант конструирования может использоваться тогда, когда необходимо обеспечить удобство монтажа узлов и элементов конструкций покрытия. Наиболее оптимален с точки зрения расхода металла в целом четвертый вариант расчетной схемы, который рекомендуется для дальнейшего проектирования.

Литература

1. *Абовский Н.П.* Регулирование. Синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости: учеб. пособие для вузов / Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков и др.; под ред. Н.П. Абовского. М.: Стройиздат, 1993. 456 с.
2. *Евстифеев В.Г.* Железобетонные и каменные конструкции: в 2 ч. Ч. 1. Железобетонные конструкции: учебник / В.Г. Евстифеев. М.: Изд. центр “Академия”, 2011. 432 с.
3. *Назаров Ю.П.* Экспертная оценка конструктивных решений Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в г. Сочи / Ю.П. Назаров, Ю.Н. Жук, В.Н. Симбиркин и др. // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: сборник научных статей: в 2 ч. Ч. 2 / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: ЦПП, 2009. С. 8–16.
4. *Городецкий А.С.* Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 / А.С. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок и др.; под ред. акад. РААСН А.С. Городецкого: [Электронное издание]. Киев–Москва, 2013. 376 с.
5. *Кравченко Г.М.* Расчет здания общежития технопарка Ростовского государственного строительного университета (РГСУ) с применением различных моделей основания / Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, Д.И. Назаренко и др. // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3228.
6. *Кравченко Г.М.* Исследование характера распределения нагрузок в расчетных схемах МКЭ / Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, Д.С. Костенко // Новый университет. Серия: Технические науки. 2015. № 1–2 (35–36). С. 118–122.