

Общая устойчивость сферической оболочки покрытия объекта «Зимний сад» технопарка РГСУ

Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, Т.Р. Кубашов

Ростовский государственный строительный университет

Аннотация: Статья рассматривает расчет сферической оболочки покрытия на общую устойчивость под действием нагрузок. Определены значения деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскости. По итогам расчета сделаны выводы и даны рекомендации на проведение необходимых инженерно-технических мероприятий для обеспечения устойчивости сооружения.

Ключевые слова: сферическая оболочка; общая устойчивость; арочная ферма; расчет каркаса здания; метод конечных элементов.

Объект «Зимний сад» представляет собой ботанический сад-оранжерею для отдыха в зимний период года, который входит в состав Технопарка РГСУ. Это здание, состоит из трех куполов разных размеров. Конструктивная схема купола принята в виде арочных ферм, выполненных из металлических труб. В данной работе рассмотрен расчет главного купола, диаметром 30 м и высотой 15 м. Внутри купола на высоте 6,6 м расположено перекрытие 2 этажа, представляющее собой кольцо, внутренний и внешний диаметр которого составляет 24 м и 16,8 м соответственно. Кольцо перекрытия по периметру опирается на фермы, а в центре на колонны здания.

Расчет оболочек на устойчивость является одной из важных задач проектирования оболочек. Известно, что оболочки обладают большой прочностью и поэтому их недостаточная устойчивость может оказаться критерием, определяющим несущую способность [1,2]. Для расчета оболочки на общую устойчивость в программном комплексе ЛИРА была разработана конечно-элементная модель (Рис.1). Для элементов каркаса принят конечный элемент КЭ 10, который имеет 6 степеней свободы в узлах [3]. Расчетная схема включает постоянные нагрузки (собственный вес и вес покрытия) и кратковременными (статической составляющей ветровой нагрузки и снеговой) (СП 20.13330.2011) [4]. Нагрузки от перекрытия 2 этажа

передаются на фермы в виде сосредоточенных сил, приложенных в узлах сопряжения фермы и кольца перекрытия. Все нагрузки учтены в расчетных сочетаниях усилий согласно СП 20.13330.2011. Предусмотрено жесткое защемление опор каркаса.

Каркас состоит из бесшовных металлических труб: фермы 1 уровня (до уровня кольца перекрытия) - верхний пояс 60x5 мм, нижний пояс 168x10 мм, раскосы 28x6 мм; фермы 2 уровня - верхний пояс 28x4 мм, нижний пояс фермы 45x5 мм, раскосы 28x6 мм. Принятые размеры сечений удовлетворяют требования прочности, причем процент использования несущей способности конструкции близок к 100%.

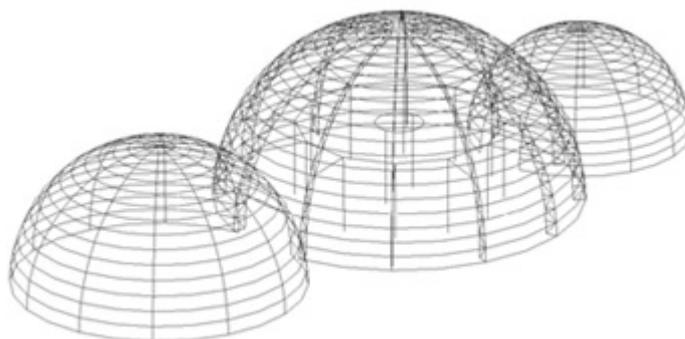


Рис. 1 Расчетная схема

На основании имеющихся характеристик жесткости элементов конструкции произведен расчёт здания по второму предельному состоянию, в частности деформации по оси Z. Максимальные значения перемещений составили 44 мм, тогда как предельно допустимые прогибы, в соответствии с СП 20.13330.2011, составляют 110 мм. (Рис. 2)

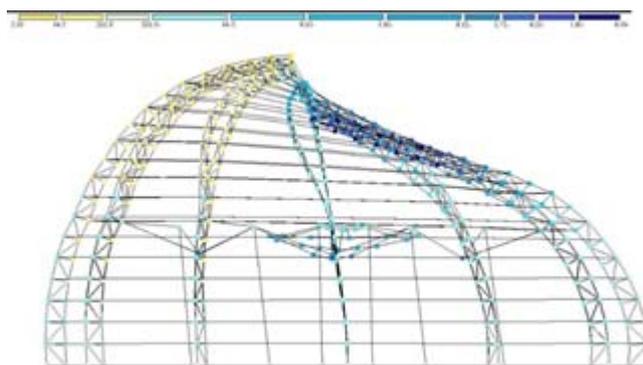


Рис. 2 Перемещения по оси Z.

Выполнен расчет на общую устойчивость. Полученные данные показали, что здание потеряло устойчивость и приобрело новую равновесную форму. Ребра жесткости получили серьезные деформации, перемещение их узлов по горизонтали составили 1000 мм, что намного превышает нормативные значения (Рис.3) (СП 20.13330.2011).

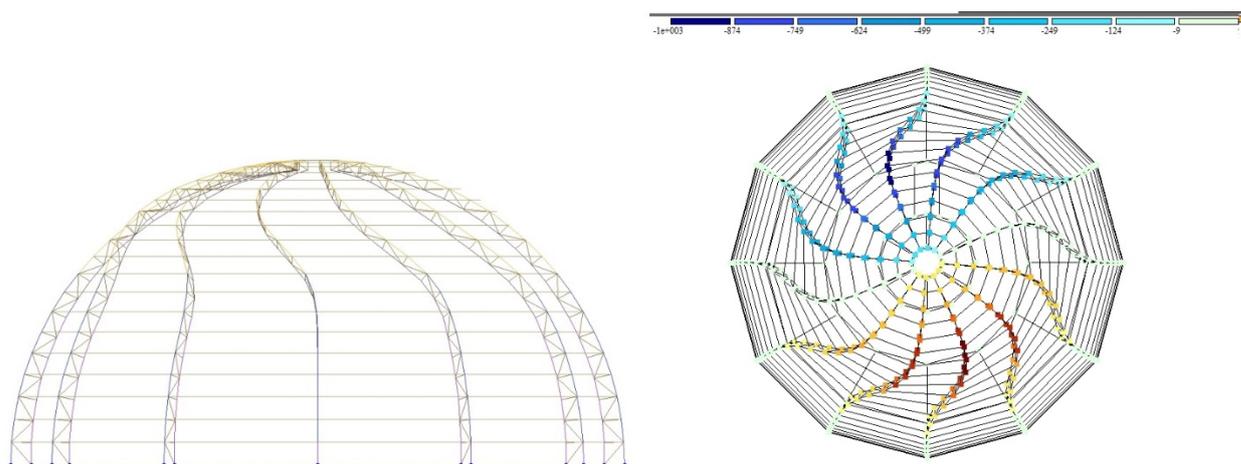


Рис. 3 Форма потери устойчивости и значения перемещений в горизонтальной плоскости.

В связи с приобретением зданием недопустимой формы равновесия, принято новое конструктивное решение в виде добавления связей между ребрами жесткости в диаметрально расположенных секторах и увеличения поперечных сечений элементов [5-7]. Результаты расчета по новой схеме

соответствует устойчивой, равновесной форме с малыми деформациями (Рис.4).

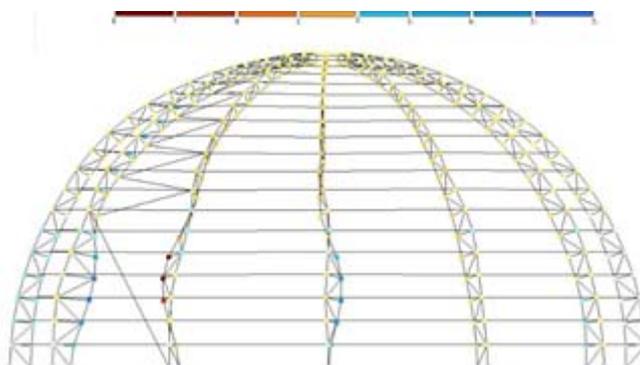


Рис. 4 Окончательная устойчивая равновесная форма.

Окончательные размеры поперечных сечений и сравнение полученных размеров занесены в Таблице 1

Элемент Каркаса	Расчет по прочности	Расчет на устойчивость
Верхний пояс	60x5 мм, 28x4 мм	95x10 мм, 60x5 мм
Нижний пояс	168x10 мм, 45x5 мм	168x20 мм, 121x10 мм
Раскос	28x6 мм	32x6 мм

Табл. 1 Размеры поперечных сечений элементов каркаса.

Выводы:

1. Разработана конечная элементная модель сферической оболочки покрытия
2. Дана оценка конструктивного решения каркаса сферической оболочки покрытия
3. Выполнено сравнение сечений каркаса здания при расчете по несущей способности.

Результаты работы дают однозначный вывод – расчет сооружений на устойчивость является необходимым и обязательным пунктом в проектировании сооружения. Зачастую именно потеря устойчивости является фактором, который приводит к разрушениям[8-10].

Литература

1. Ярополов В.А., Ярополов Ю.В. Исследование влияния начальных отклонений формы сферической оболочки на устойчивость методом конечных элементов // Успехи современного естествознания. 2012. №6. С. 127-128.
 2. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек. М.: Наука, 1978. 360 с.
 3. Программный комплекс лира-сапр® 2013 Учебное пособие / Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е., Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. К. М.: Электронное издание, 2013. 376 с.
 4. Расчет ветровой нагрузки по программе «Wind pressure». Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Костенко Д.С. Новый университет. Серия: Технические науки. 2015. № 1-2 (35-36). С. 123-129.
 5. В.В. Литвинов, Б.М. Языев. Некоторые вопросы общей устойчивости оболочек вращения. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2014. 92 с
 6. Ахмедов А.Д. Достаточные условия устойчивости равновесия мгновенно-жестких шарнирно-стержневых систем // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2601.
 7. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Цуриков С.Г., Лукьянов В.И. Расчет железобетонного каркаса здания с учетом аварийного воздействия во временной области // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2886
 8. Gupta P.K., Gupta N.K. A study of axial compression of metallic hemispherical domes//Journal of materials processing technology. 2009 V.209. pp. 2175-2179.
-



9. Glough R.W. A finite element approximation for the analysis of thin shells / R.W. Glough and CP. Janson // Int. Journal. Solids Struct. 1968, №4. - Pp. 1261-1172.

10. Шошин Д.В. Конечно-элементное моделирование процессов деформирования, потери устойчивости и закритического поведения упругопластических сферических оболочек: дис. ... канд. техн. наук: 01.12.06. Н. Новгород, 2012. 156 с.

References

1. Jaropolov V.A., Jaropolov Ju.V. Advances in current natural sciences. 2012. №6. p. 127-128.

2. Programmnyj kompleks lira-sapr® [The program complex LIRA-cad] 2013 Uchebnoe posobie. Gorodeckij D.A., Barabash M.S., Vodop'janov R.Ju., Titok V.P., Artamonova A.E. , Pod red. akademika RAASN Gorodeckogo A.S. K. M.: Jelektronnoe izdanie, 2013. 376 p.

3. Grigoljuk Je.I., Kabanov V.V. Ustojchivost' obolochek [Stability of shells]. M.: Nauka, 1978. 360p.

4. V.V. Litvinov, B.M. Jazyev. Nekotorye voprosy obshhej ustojchivosti obolochek vrashhenija [Some questions in the general stability of the shells of revolution]. Rostov-na-Donu: RGSU, 2014. 92 p.

5. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Kostenko D.S. Raschet vetrovoj nagruzki po programme «Wind pressure». [Calculation of wind load on the program «Wind pressure»] Novyj universitet. Serija: Tehnicheskie nauki. 2015. № 1-2 (35-36). p. 123-129.

6. Ahmedov A.D. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2601.

7. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Curikov S.G., Luk'janov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2886



8. Gupta P.K., Gupta N.K. A study of axial compression of metallic hemispherical domes. Journal of materials processing technology. 2009 V.209. p. 2175-2179.

9. Glough R.W. A finite element approximation for the analysis of thin shells. R.W. Glough and CP. Janson. Int. Journal. Solids Struct. 1968, №4. - pp. 1261-1172.

10. Shoshin D.V. Konechno-jelementnoe modelirovanie processov deformirovanija, poteri ustojchivosti i zakriticheskogo povedenija uprugoplasticheskikh sfericheskikh obolochek [Finite element modeling of deformation, buckling and supercritical behavior elastoplastic spherical shells]: dis. ... kand. tehn. nauk: 01.12.06. N. Novgorod, 2012. 156 p.