

Исследование подкрепленной цилиндрической сетчатой оболочки

А.И. Сиянов, Д.К. Ярошевич

Лысьвенский филиал «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Лысьва

Аннотация: Проведены исследования круговой цилиндрической сетчатой оболочки с дополнительными стержнями и повышенной жесткостью опорных ребер. В рамках поиска оптимальной конструкции использован критерий рационального расхода материала. По результатам исследований выявлены закономерности распределения силовых факторов и параметров деформирования. Выполнена оценка степени активности работы и уязвимости к деформациям. Проанализированы опасные участки поверхностей, получены мозаики усилий и перемещений. Определен вклад элементов подкрепления и выявлено влияние жесткости опорных ребер. Достигнута существенная разгрузка пространственной конструкции и зафиксирован высокий уровень сопротивления воздействиям. Получено значительное снижение расчетных показателей.

Ключевые слова: цилиндрическая сетчатая оболочка, подкрепление стержнями, жесткость опорных ребер, оптимизация, усилия, перемещения, расход материала.

Введение

Для определения оптимальных параметров круговой цилиндрической сетчатой оболочки предложено использовать известный критерий рационального расхода материала по поверхности [1]. Благодаря усовершенствованию исходного решения оболочечной системы, появляется реальная возможность разгрузить отдельные элементы. В отличие от ранее предложенных конструктивных схем [2–4] в статье рассмотрена идея подкрепления оболочки с введением дополнительных стержней и повышением жесткости опорных ребер.

Исследования проведены на расчетных моделях пространственной конструкции с использованием прикладного программного обеспечения [5, 6]. Задачи работы предполагали выявление закономерностей поведения оболочки в рамках исследования характерных силовых факторов и параметров деформирования.

Отметим, что данная постановка вопроса представляет особый интерес для развития теоретических исследований и весьма актуальна для создания устойчивых конструкций при повышении их геометрических параметров [7, 8].

Формирование моделей оболочки

Процесс моделирования оболочек предусматривал использование поверхностей вращения с квадратной ячейкой и диагональным элементом посередине [9, 10].

Учитывая зависимость между длиной, высотой и углом описанной окружности, найдены оптимальные размеры конструкции (табл. 1).

Таблица 1

Параметры сетчатой оболочки

Размеры в плане $B \times L$, м	Стрела подъема f , м	Размеры ячейки a , м	Угол описанной окружности α , в градусах	Радиус кривизны R , м
24×28,56	6,87	2,38	120	13,9
30×37,2	9,55	3,1	130	16,59
36×43,2	10,29	3,6	120	20,8

Параметры, указанные в табл. 1, получены в соответствии с требованиями экономии и условиями устойчивости.

Система принята с опорным вертикальным закреплением по контуру. Полный запрет линейных перемещений реализован в одном из углов, а две связи наложены в остальных трех углах.

Пространственная жесткость конструкции обеспечена подкреплением граней по направлению дуги отдельными стержнями через каждые две панели вдоль образующей. Исключение составили грани коньковой зоны, в которой отсутствовали элементы подкрепления.

Модель оболочки с наложенными связями и подкрепляющими элементами показана на рис. 1.

Все элементы приняты из труб $D \times t = 140 \times 4,5$ мм, жестко соединенных между собой в направлении нормали к поверхности конструкции. Опорные ребра приняты из двутавра 30Б1. В качестве материала выбрана сталь С245.

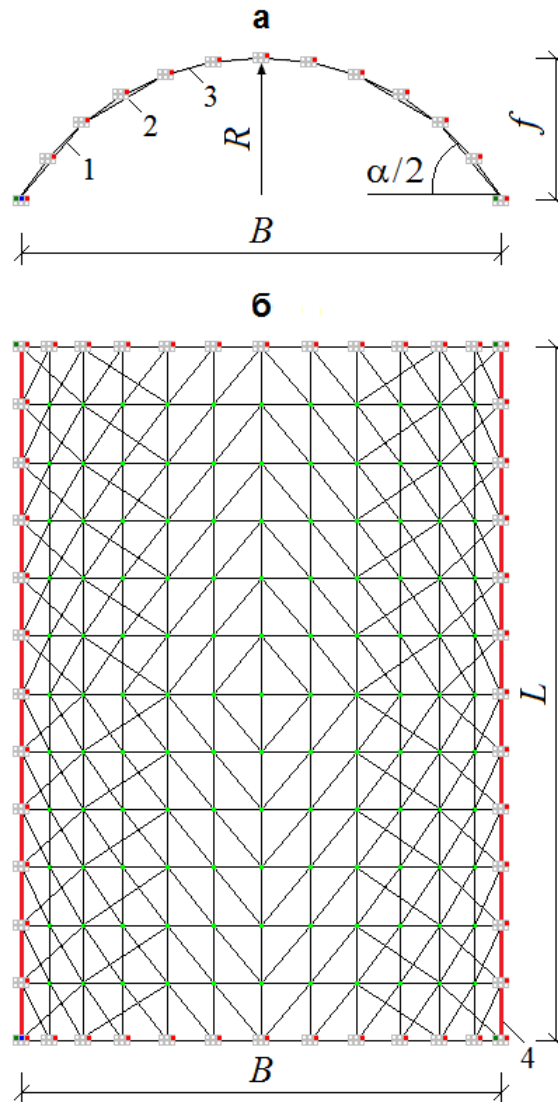


Рис. 1 – Схема подкрепленной сетчатой оболочки: а – вид с торца; б – вид сверху; 1 – диагональный элемент; 2 – связь в торцевом опорном узле; 3 – элемент грани; 4 – опорное ребро повышенной жесткости

На основании назначенных жесткостей рассчитан необходимый собственный вес оболочки.

С учетом грузовых площадей определена и приложена к узловым соединениям эксплуатационная нагрузка:

$$F_1 = qA_1 = \frac{1}{4}qlh; \quad (1)$$

$$F_2 = qA_2 = \frac{1}{2} qlh; \quad (2)$$

$$F_3 = qA_3 = qlh. \quad (3)$$

где q – результат действия снега и ветра; A_1, A_2, A_3 – грузовые площади на характерных участках конструкции; l, h – размеры ячеек вдоль длины и дуги оболочки соответственно.

Результаты исследований

Несмотря на различные геометрические параметры, рассмотренные схемы показали одинаковую закономерность распределения внутренних силовых факторов и параметров деформирования. Отличия зафиксированы только в значениях исследуемых показателей.

Каждая модель оболочки оценена по степени активности работы и уязвимости к деформациям.

Проанализированы опасные участки поверхностей, мозаики усилий и перемещений.

Выявлен значительный вклад диагональных элементов подкрепления и повышение жесткости опорных ребер в общее состояние моделей. В частности достигнута существенная разгрузка нижних граней (в наиболее нагруженных стержнях величина продольных усилий снизилась в 1,5 раза). В средних элементах опорных граней изменился знак усилия, что привело к работе на растяжение.

Позитивное влияние дополнительных диагональных элементов и повышение жесткости опорных ребер отразилось также на уменьшении разброса между значениями перемещений по поверхности. Их величина в горизонтальном направлении на опорах в местах наиболее уязвимых средних узлов снизилась в 1,4 раза, препятствуя значительному расползанию конструкции. Наибольший прогиб на склонах цилиндрической сетчатой оболочки уменьшился в 1,3 раза.

Выводы

В заключение отметим, что введение подкрепляющих стержней и опорных ребер повышенной жесткости оказывает позитивное влияние на цилиндрическую сетчатую оболочку и существенно повышает ее эксплуатационные возможности. На перспективу следует продолжить исследования с разработкой узловых соединений и выполнить ряд проектов для реализации конструкции в строительстве.

Литература

1. Zhou H., Zhang Y., Fu F., Wu J. Collapse mechanism of single-layer cylindrical latticed shell under severe earthquake // *Materials*. 2020. Vol. 13 (11). URL: preprints.org/manuscript/202005.0012/v1.
2. Сиянов А.И. Моделирование и расчет подкрепленной цилиндрической сетчатой оболочки // *Промышленное строительство и инженерные сооружения*. 2017. №4. С. 16-19.
3. Сиянов А.И., Сивков Д.В., Ярошевич Д.К. Подход к оптимизации цилиндрического стержневого покрытия // *Инженерный вестник Дона*, 2022, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7836.
4. Siyanov A.I., Rynkovskaya M.I., Abu Mahadi M.I., Mathieu G.O. Improving the performance parameters of metal cylindrical grid shell structures // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2017. №7S. pp. 365-376.
5. ЛИРА Сервис. URL: rflira.ru/services/objects/474/.
6. ЛИРА Софт. URL: lira-soft.com/news/novovvedeniya-lira-10-12/.
7. Пшеничнов Г.И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок. М.: Наука, 1982. 352 с.
8. Xiong Z., Zhu S., Zou X., Guo S., Qiu Y., Li L. Elasto-plastic buckling behaviour of aluminium alloy single-layer cylindrical reticulated shells with gusset joints // *Engineering Structures*. 2021. Vol. 242. pp. 112562.

9. Application of circular surfaces to the architecture of the building, structures and products // Cylindrical surfaces for social significant architectural projects in Cameroon, 2015 URL: researchgate.net/publication/302934584.

10. Солохин Н.Н. Модельная задача для поверхностей второго порядка положительной кривизны // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1662.

References

1. Zhou H., Zhang Y., Fu F., Wu J. Materials. 2020. Volume. 13 (11). URL: preprints.org/manuscript/202005.0012/v1.

2. Siyanov A.I. Promyshlennoe stroitel'stvo i inzhenernye sooruzheniya. 2017. №4. С. 16-19.

3. Siyanov A.I., Sivkov D.V., Yaroshevich D.K. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7836.

4. Siyanov A.I., Rynkovskaya M.I., Abu Mahadi M.I., Mathieu G.O. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. №7S. pp. 365-376.

5. LIRA Servis. URL: rflira.ru/services/objects/474/ (accessed 09/08/23).

6. LIRA Soft. URL: lira-soft.com/news/novovvedeniya-lira-10-12/ (accessed 09/08/23).

7. Pshenichnov G.I. Teoriya tonkikh uprugikh setchatykh obolochek i plastinok [Theory of thin elastic mesh shells and plates]. M.: Nauka, 1982. 352 p.

8. Xiong Z., Zhu S., Zou X., Guo S., Qiu Y., Li L. Engineering Structures. 2021. Vol. 242. pp. 112562.

9. Application of circular surfaces to the architecture of the building, structures and products [Cylindrical surfaces for social significant architectural projects in Cameroon]. URL: researchgate.net/publication/302934584 (accessed 09/08/23).

10. Solokhin N.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1662.
