
Исследование параметрических соотношений в пределах безопасной работы цилиндрических сетчатых оболочек

А.И. Сиянов, Д.К. Ярошевич

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

Аннотация: В статье исследованы параметрические зависимости цилиндрических стержневых оболочек с позиций их влияния на силовое состояние и перемещения узлов сетчатой области. Проанализированы факторы критического состояния с учетом степени заполнения ячеек и величины расхождения заданных характеристик. Осуществлен анализ формообразующих параметров и установлены рациональные пределы их возможного использования. Введен коэффициент учета размеров ячейки с расположением стержней в пределах граней. Получены основные соотношения и выполнена оценка степени чувствительности расчетных моделей на изменение геометрической формы. Найден предельный угол описанной окружности, за гранью которого невозможна эксплуатация конструкции. Определен уровень опасного увеличения габаритного параметра вдоль дуги при минимально возможной высоте конструкции.

Ключевые слова: цилиндрические стержневые оболочки, сетчатая область, степень заполнения ячеек, параметрические зависимости, силовое состояние, жесткость.

Введение

Цилиндрические сетчатые оболочки применяются в качестве покрытий зданий и сооружений различного назначения. Их преимущества в основном проявляются при возведении крупных объектов с очень большими полезными площадями. Однако при увеличении пролетов следует учитывать рекомендованные соотношения геометрических параметров.

Проведенный анализ работ позволил выявить ключевые зависимости между габаритными размерами конструкции [1, 2]. Известно, что поведение оболочек во многом определяется расположением стержней в ячейках [3]. В отдельных участках возможна сильная концентрация напряжений, величина которой зависит от уязвимости сетчатой поверхности [4]. Схемы сеток, указанные в трудах [5, 6], проанализированы с позиций эффективности работы элементов.

На основании проведенного анализа предложен способ рассмотрения стержней в ячейках в пределах граней [7].

Постановка цели и задач

Цель исследований – получение рациональных параметрических зависимостей цилиндрических сетчатых оболочек с позиций их влияния на силовое состояние и перемещение узлов.

Процесс исследования предусматривал:

- создание компьютерных моделей для определения степени чувствительности расчетных схем при изменении геометрической формы;
- выявление рациональных соотношений формообразующих параметров и анализ размеров конструкции;
- установление показателей безопасной работы сетчатой области и обработка полученных данных.

Формообразующие параметры

Из опыта предыдущих исследований [8-10] известно, что основными формообразующими параметрами, которые влияют на усилия в элементах и перемещения узлов являются длина L , ширина B , высота (стрела подъема) f , угол α описанной окружности и радиус R кривизны.

Существенным показателем формообразования является степень заполнения сетки стержнями на цилиндрической поверхности. Для оценки снижения несущей способности при условии превышения геометрических показателей введем безразмерный параметр

$$c = N^*U / iK,$$

где N^* – величина распределенной нагрузки, приводящей к критическому состоянию системы; U – формообразующий параметр, характеризующий степень подъема и заполнения сетки; i – коэффициент учета размеров ячейки; K – мембранная жесткость элементов оболочки.

Оценивая критическое состояние и, принимая во внимание квадратный размер ячейки, можно записать:

$$N^* = q; U = aR; i = s; K = EA,$$

где q – критическая нагрузка; a – размер ячейки; R – радиус кривизны оболочки; s – коэффициент заполнения сетки; E – модуль упругости материала; A – площадь поперечного сечения элементов.

Тогда с учетом наличия диагонального элемента, который разделяет каждую ячейку на два одинаковых треугольника, получим коэффициент жесткости s для сетки, причем $s = 1,5$, поскольку одна половина жесткости раскоса относится к поясу, а вторая – к стойке (рис. 1).

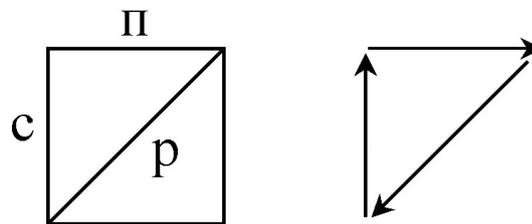


Рис. 1. Ориентация стержней в ячейках оболочки по направлениям:

п – поясов; с – стоек; р – раскосов

Поскольку при проектировании наибольший интерес вызывает ширина B , тогда параметры формообразования (угол α описанной окружности и радиус R кривизны) будут определяющими.

Ширина B оболочки в данном случае становится ориентиром для определения пределов изменения длины L и стрелы подъема f .

На основании анализа полученных результатов выявлены пределы изменения формообразующих показателей:

$$L / B = 1 \dots 1,5; B / f = 3 \dots 4; \alpha = 120^\circ \dots 150^\circ.$$

Дальнейшее увеличение соотношения ширины B к стреле подъема f ($B / f > 4$) и рост угла α описанной окружности за пределом 150° показало опасное уменьшение высоты f конструкции и повлекло за собой резкое

увеличение усилий в элементах.

Предельное состояние элементов и узлов

Рост ширины B оказал сильное влияние на поясные элементы нижних ребер и отдельные продольные элементы граней, расположенных на склонах оболочек.

Ощутимым изменениям подверглась также форма сетчатой поверхности. Существенно возросли перемещения узлов в вертикальном направлении, а наибольшая опасность выявлена в области опорных участков вследствие значительных прогибов центральной части конструкции.

Рациональные геометрические параметры

Оценивая работу компьютерных моделей, установлены пределы рациональных геометрических параметров, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Формообразующие параметры цилиндрических сетчатых оболочек

Параметр	Обозначение	Величина, м
Ширина	B	18...24
Длина	L	24...30
Стрела подъема	f	5,2...7,6
Радиус кривизны	R	9,3...13,3
Сторона ячейки	a	3...5

Графическое соотношение габаритных размеров показано на рис. 2.

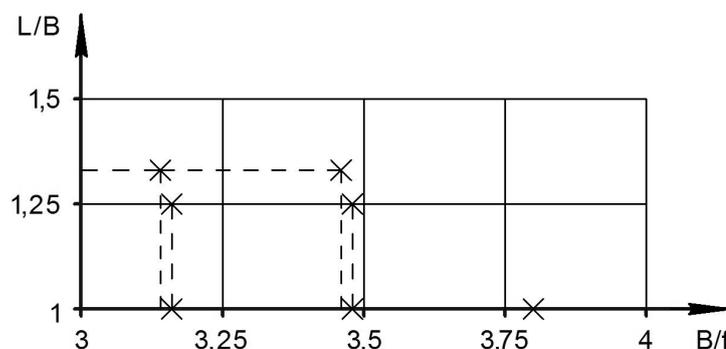


Рис. 2. График рациональных соотношений размеров оболочки

Как видим, приведенные на графике результаты имеют уточняющий характер, нежели те [5], которые получены ранее в рамках поиска оптимальных геометрических параметров. Рациональные соотношения L/B выявлены на 3-х уровнях (1; 1,25 и 1,33), соответствующих значениям B/f (3,14; 3,16; 3,46; 3,48; 3,8).

Анализируя данные табл. 1 и ввиду того, что реальные размеры оболочки в плане зависят от габаритов ячейки, осуществлено построение графика рациональных соотношений с параметром a (рис. 3).

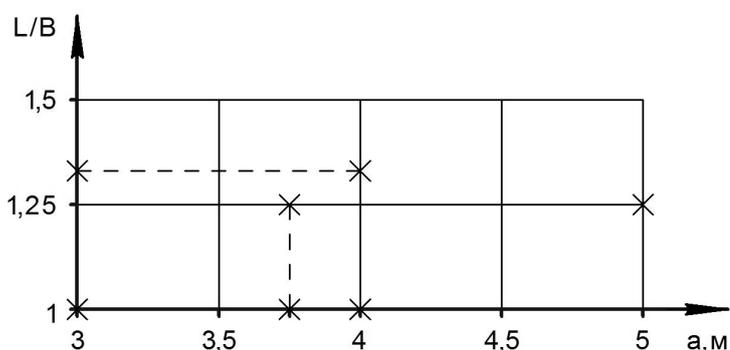


Рис. 3. График рациональных соотношений габаритов оболочки с параметром размера ячейки

Из приведенных показателей (рис. 3) видно, что графическая зависимость $L/B - a$ содержит 4 значения размера ячейки (3; 3,75; 4; 5), которым соответствует то же количество уровней, что и на рис. 2.

Полученный в обоих графиках порядок расположения маркеров свидетельствует о том, что большинство значений зафиксировано на уровне одинаковых размеров B и L . Такой факт очевиден, поскольку $L/B = 1$ и уровень, которому соответствует квадрат в плане является промежуточным на пути к увеличению габаритов конструкции.

В итоге следует отметить, что существенное влияние на силовое состояние сформированных моделей цилиндрических сетчатых оболочек по

сравнению с другими параметрами оказывает угол α описанной окружности. Как следствие изменяется стрела подъема f , радиус R кривизны и ширина B оболочки. Резкие изменения длины L конструкции также вызывают повышенную чувствительность элементов, особенно в уязвимых участках.

Выводы

1. Исследованы параметрические зависимости цилиндрических стержневых оболочек с позиций их влияния на силовое состояние и перемещения узлов сетчатой области.

2. Проанализированы факторы критического состояния с учетом степени заполнения ячеек и величины расхождения заданных характеристик. Осуществлен анализ формообразующих параметров и выявлены рациональные пределы их возможного использования.

3. Введен коэффициент учета размеров ячейки с расположением стержней в пределах граней. Получены основные соотношения и выполнена оценка степени чувствительности расчетных моделей на изменение геометрической формы.

4. Определен предельный угол описанной окружности, за гранью которого невозможна эксплуатация конструкции и установлен уровень опасного увеличения габаритного параметра вдоль дуги при минимально возможной высоте конструкции.

Литература

1. Лебедев В.А., Лубо Л.Н. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. 136 с.

2. Лубо Л.Н. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа – сетчатых оболочек. Л.: ЛенЗНИИЭП, 1971. 63 с.

3. Рюле Г. Пространственные покрытия (конструкции и методы возведения). Том 2. М.: Стройиздат, 1974. 247 с.

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. Ma H., Fan F., Wen P., Zhang H., Shen S. Experimental and numerical studies on a single-layer cylindrical reticulated shell with semi-rigid joints // Thin-Walled Structures. 2015. Vol. 86. pp 1–9.

6. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции: учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1983. 215 с.

7. 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.

8. Сиянов А.И. Исследование цилиндрической сетчатой оболочки с повышенной жесткостью опорных ребер // Инженерный вестник Дона, 2019, №9 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6166.

9. Сиянов А.И., Ярошевич Д.К. Обоснование методологии расчета цилиндрической сетчатой оболочки // Инженерный вестник Дона, 2021, №12 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7319.

10. Попов И.Г. Цилиндрические стержневые системы. Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. 112 с.

References

1. Lebedev V.A., Lubo L.N. Setchatye obolochki v grazhdanskom stroitel'stve na severe.[Mesh shells in civil engineering in the north]. L.: Stroyizdat, Leningr. otd-nie , 1982. 136 p.

2. Lubo L.N. Rukovodstvo po proektirovaniyu i raschetu pokrytiy novogo tipa – setchatykh obolochek [Guidelines for the design and calculation of roofs of a new type of mesh shells]. L.: LenZNIIEHP, 1971. 63 p.



3. Ryule G. Prostranstvennyye pokrytiya (konstruktsii i metody vozvedeniya) [Spatial roofs (structures and methods of construction)]. Tom 2. M.: Stroyizdat, 1974. 247 p.
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. Ma H., Fan F., Wen P., Zhang H., Shen S. Thin-Walled Structures. 2015. Vol. 86. pp 1–9.
6. Trushchev A.G. Prostranstvennyye metallicheskie konstruktsii: ucheb. posobie dlya vuzov [Spatial metal structures: manual for universities]. M.: Stroyizdat, 1983. 215 p.
7. Zhou H., Zhang Y., Fu F., Wu J. Materials. 2020. Volume. 13 (11) URL: preprints.org/manuscript/202005.0012/v1.
8. Siyanov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6166.
9. Siyanov A.I., Yaroshevich D.K. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №12 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7319.
10. Popov I.G. Tsilindricheskie sterzhnevye sistemy [Cylindrical rod systems]. L.; M.: Gos. izd-vo lit. po str-vu i arkh-re, 1952. 112 p.

Дата поступления: 3.11.2024

Дата публикации: 1.01.2025