Моделирование и исследование подкрепленных цилиндрических сетчатых оболочек для проектирования большепролетных покрытий

*Акулов С.В., студент,
Технический институт (филиал) СВФУ им. М.К. Аммосова,
г. Нерюнгри
E-mail: akulov-sergey2013@yandex.ru*

*Научный руководитель:
к.т.н., доцент Сиянов А.И.*

Развитие строительной отрасли в России ориентировано на поиск эффективных конструкций, способных учесть растущие потребности населения. Расширяется сфера сервисного обслуживания, выпускается новая продукция, открываются просторные залы, салоны, организуются выставки и презентации. Растет потребность в больших площадях, которые должны перекрываться архитектурно-привлекательными и конкурентоспособными конструкциями.

Часто на помощь проектировщикам приходит опыт использования металлических криволинейных поверхностей [1], которые производят приятное впечатление на человека. Так невольно появляется необходимость в пространственных конструкциях цилиндрической формы. Причем самым оптимальным вариантом считаются прямоугольные, в плане круговые, сетчатые поверхности, которые удачно применяются в качестве покрытий зданий и сооружений [2–4]. Заметим, что наиболее эффективными, с точки зрения затрат материала, следует признать конструкции, которые в сечении имеют одну ломаную линию, то есть состоят из одной сетки. Поэтому такие конструкции и называются односетчатыми. Их применение дает возможность использовать внутреннее полезное пространство сооружения, поскольку все элементы расположены в плоскости покрытия [5].

Однако следует помнить, что любые предложения должны приниматься с учетом особенностей работы конструкции под нагрузкой. Это требует определения опасных мест с точки зрения распределения усилий и перемещений в системе. Так, наибольшие усилия в стержнях оболочки возникают в опорных гранях. Элементы этих граней сильно загружены и имеют место большие отклонения узлов. Обеспечить равномерное распределение усилий и уменьшить перемещения нижних граней можно за счет удачно разработанных конструктивных мер.

Предлагается повлиять на работу опорных участков с помощью включения в состав покрытия специальных элементов (подкрепляющих стержней) [6] (рис. 1). Можно даже воспользоваться стратегическими мероприятиями и изменить схему крепления оболочки путем полного закрепления нижних поясов опорных граней или значительно увеличить жесткость нижнего опорного ребра. Есть также возможность использовать ныне разработанные дополнительные способы подкрепления. Однако, выбор того или иного варианта осуществляется на основании комплексного обоснования работы конструкции под нагрузкой с учетом геометрических параметров и технико-экономического сравнения конструктивных решений.

Моделирование оболочки проведено с использованием прикладного программного

обеспечения для исследования на действие полного и одностороннего приложения нагрузок. Собственный вес покрытия получен на основании назначения элементам характеристик жесткости.

Рис. 1. Способ подкрепления оболочки путем соединения двух граней: 1 – круговая сетчатая поверхность; 2 – элементы подкрепления

Нагрузки от снега и ветра переведены через грузовые площади в сосредоточенные силы, которые приложены в узлах:

$$F_1 = qA_1 = \frac{1}{4}qlh; F_2 = qA_2 = \frac{1}{2}qlh; F_3 = qA_3 = qlh, \quad (1)$$

где q – результат суммы собственного веса, снеговой и ветровой нагрузок; A_1, A_2, A_3 – грузовые площади в отдельных участках сетчатой поверхности; l, h – размеры ячеек вдоль длины и дуги покрытия соответственно.

Определены продольные усилия N_i в элементах и перемещения δ_i узлов с их максимальными показателями $N_{\max}^-, N_{\max}^+, \delta_{\max}$ в опасных участках:

$$N_i = A_i R_y \gamma_c; N_{\max}^- = \varphi A_{\max} R_y \gamma_c; N_{\max}^+ = A_{\max} R_y \gamma_c; \delta_i \leq \delta_{\max}, \quad (2)$$

где знаки “+” и “-” соответственно указывают на усилия сжатия и растяжения; A_i и $A_{\max}$ – площади поперечных сечений элементов; R_y – расчетное сопротивление материала стержней; φ и γ_c – коэффициент продольного изгиба и условий работы соответственно.

Введены ограничения по несущей способности σ , перемещениям узлов δ , предельной гибкости λ и габаритам сечения D элементов:

$$\sigma_i \leq \sigma_u; \delta_i \leq \delta_u; \lambda_i \leq \lambda_u; D_i \leq D_u, \quad (3)$$

где индекс “ u ” относится к предельным искомым параметрам.

Учтена также опасность потери устойчивости сетчатой поверхности, которая отражена количеством n полуволн по направлению дуги и коэффициентом Ω запаса устойчивости оболочки:

$$n = [2, 4]; \Omega \in [0, \Lambda], \quad (4)$$

где Λ – заданное число, к которому стремиться параметр Ω .

Расчеты проведены для конечно-элементной модели оболочки с размерами в плане

24,25 м × 30 м и высотой (стрелой подъема) 7 м. В рамках выполненных исследований выявлены максимальные внутренние силовые факторы и параметры деформирования сетчатой поверхности (рис. 2).

Рис. 2. Максимальные усилия в стержнях (а) и максимальные перемещения узлов (б) оболочки:
1 – без подкрепления; 2 – с подкрепляющими элементами

Из полученных результатов видно, что наибольшие усилия зафиксированы в растянутых элементах. Сопоставление максимальных усилий разных знаков для двух систем показало неравномерность работы наиболее нагруженных элементов. Из всех возможных направлений наибольшего изменения претерпела геометрия покрытия по направлению вертикали. Поперечное расползание и продольное движение систем в меньшей степени повлияли на схему общего деформирования.

Конечно, возможные концентрации усилий в элементах по сетчатой поверхности и большие перемещения узлов опасных участков покрытия можно устранить или по крайней мере, существенно снизить специальными мероприятиями. Нужно только учитывать место расположения конструкции в сооружении или условия закрепления, ведь системы с натянутыми элементами, например, желательно опирать непосредственно на фундаменты, а для полного закрепления нижних поясов опорных граней требуется наличие прочных опор, способных воспринимать значительные горизонтальные усилия от распора.

Список литературы:

1. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции / А.Г. Трущев: Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.
2. Рюле Г. Пространственные покрытия // Конструкции и методы возведения / Г. Рюле. Пер. с немецк. – Том 2. – М.: Стройиздат, 1974. – 247 с.
3. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции / О. Патцельт. Пер. с немецк. – М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. – 95 с.
4. Попов И.Г. Цилиндрические стержневые системы / И.Г. Попов. – Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с.
5. Siyanov A.I. Improving the performance parameters of metal cylindrical grid shell structures / A.I. Siyanov, M.I. Rynkovskaya, M.I. Abu Mahadi, G.O. Mathieu // Journal of Fundamental and Applied Sciences, [S.l.], v. 9, n. 7S, p. 365-376, nov. 2017.
6. Сиянов А.И. Моделирование и расчет подкрепленной цилиндрической сетчатой оболочки / А.И. Сиянов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – № 4. – С. 16-19.