

посидеть за скульптурно выполненной швейной машиной, примерить кованный сапог, позвонить в пожарный колокол. Уличное освещение в виде художественно оформленных фонарей в вечернее время помимо утилитарной функции способствует смещению внимания с витрин и рекламных щитов и созданию визуальных акцентов на объектах не коммерческого характера, при помощи которых появляются комфортные и развивающие зоны отдыха для городского населения. Игровая театрализованная атмосфера, рождаемая героями литературных произведений, выполненных в форме скульптур, позволяет ошутить атмосферу праздника.

Исторический

На этих улицах благодаря объединению времени создания зданий и связанного с ним выбора образного строя скульптуры происходит воскрешение атмосферы исторического прошлого. Образы людей разных профессий, литературные персонажи того периода дополняют ощущения. Это погружает в данную транслируемую эпоху и позволяет прочувствовать её и оказывается важным для того, чтобы пространство улицы наполнилось самобытным национальным духом.

Функциональный

Так же имеется связь близлежащих зданий по своей исполняемой функции и скульптур на фонарях, которые передают её в знаковой форме. Например, около музыкального колледжа в Бресте установлен фонарь в виде скрипичного ключа.

Сюжетный

Так же можно проследить существование и объединяющей тематики скульптурных произведений и рядом расположенного здания. Например, недалеко от ресторана «Жюль Верн» находится фонарь, созданный по мотивам творчества писателя, украшенный скульптурами в форме корабля, земного шара и морского руля. Совмещение функций фонарей, таких как оборудование для освещения и арт. объекта, позволяет работать над художественным образом.

Заключение. Художественное решение опор для фонарей позволяет раскрыть с помощью выразительных средств скульптуры дух места. Такие архитектурные объекты служат часто акцентами в про-

странстве и формируют определённый стиль. С их помощью возможно отражение своеобразия исторического колорита, местных национальных традиций, природных условий. Также они способствуют сложению единого ансамбля застройки. Правильно выбранные центральные элементы объединяют архитектурное окружение, определяют его основной замысел и принципы организации. Использование концепции синтеза искусств позволяет выявлять образно-эстетическую составляющую пространства. Соединяясь в нем, разные виды искусства взаимно обогащают друг друга. При помощи скульптурно оформленных опор фонарей происходит создание ритмических пауз, членение на отдельные взаимосвязанные зоны, придание необходимой масштабности всему архитектурному ансамблю улицы, осуществляется синтез с окружением на основе пластического единства. Пространственная среда, формируемая такими объектами, организует художественную атмосферу улицы Гоголя в Бресте, придавая ей образность, выраженную фантазийностью, сказочностью и праздничностью. При осуществлении взаимосвязи малых архитектурных форм со средой учитываются ансамблевые, доминантные, тематические, функциональные, исторические, сюжетные, театральные признаки.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Николаевская, З.А. Садово-парковый ландшафт / З.А. Николаевская. – М.: Стройиздат, 1989. – 344 с.
2. Ландшафтная архитектура: специализированные объекты: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.Б. Соколовская, В.С. Теодоронский, А.П. Вергунов. – М.: Академия, 2007. – 224 с.
3. Гуренко, Е.Г. Проблемы художественной интерпретации (философский анализ) / Е.Г. Гуренко. – Новосибирск: Наука, 1989. – 256 с.
4. Кривцун, О.А. Эстетика / О.А. Кривцун. – М.: Аспект Пресс, 1998. – 423 с.
5. Тукаева, Р.А. Художественная реальность абстрактного искусства / Р.А. Тукаева // Вестник Башкирского университета. – 2012. – № 1 – Т. 17. – С. 316–319.

Материал поступил в редакцию 10.03.16

SMITIENKO I.V., DAVIDUK E.A. Principles of spatial interaction of small architectural forms with the environment

Spatial environment, formed by small architectural forms submitted sculptural decoration lights supports, organizes artistic atmosphere of Gogol street, giving it the imagery expressed fantasy, fairy and holidays. When creating an ensemble of streets considered the dominant scale, plastic, planning, texture, composition, architectural and artistic, semantic principles.

УДК 624.014.27

Драган В.И., Глушко К.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЕЙ СТАЛЬНЫХ СЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ С ЖЁСТКИМИ УЗЛАМИ

Введение. Сетчатые купола чаще всего применяются при необходимости перекрытия больших площадей. Эффективность применения сетчатых куполов обусловлена формой поверхности, наиболее близкой к форме снеговой нагрузки, пространственной работой системы стержней, малой металлоёмкостью и возможностью эффективного использования внутреннего пространства.

В настоящее время существуют методы расчёта куполов как сплошных оболочек [1, 2, 3], реализуемые «вручную», так и аналитические, реализуемые при помощи МКЭ в расчётных программных комплексах. Следует отметить, что применять безмоментную теорию оболочек для сетчатых конструкций с жёсткими узлами не всегда корректно [1]. Однако необходима проверка местной устойчивости и изменения усилий в стержнях при деформировании стержневой

оболочки вне зависимости от выбранного метода расчёта.

Потеря местной устойчивости сетчатого купола наступает при «прощёлкивании» (продавливании) к центру кривизны узла-вершины пологой пирамиды, рёбрами которой являются стержни.

Это явление было рассмотрено в разное время в работах К. Клёппеля [4], А.А. Журавлёва [5, 6], В. Маттиса и П. Вегнера [7]. Однако в этих трудах приняты допущения, которые не могут расчёты указанных авторов сделать универсальными. Так, узлы соединения стержней принимались шарнирными, стержни имели равную длину, все стержни имели одно и то же поперечное сечение, нагрузка принималась только узловой. В работах В.А. Савельева [8, 9, 10] рассмотрен процесс прощёлкивания пологой пирамиды с шарнирными узлами. Все перечисленные методы справедливы в границах их

Драган Вячеслав Игнатьевич, к.т.н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций, первый проректор Брестского государственного технического университета.

Глушко Константин Константинович, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

применимости, однако они не универсальны и применимы для сетчатых оболочек сферической формы.

Метод, изложенный ниже, предлагается применить для исследования местной устойчивости и определения усилий и деформаций сетчатых оболочек произвольной формы и с нерегулярной решёткой.

Допущения, принятые в расчёте:

- изменением углов (α_i) между стержнями, сходящимися в один узел, можно пренебречь за малостью этого углового перемещения (см. рис. 1);
- изменением длины проекции изогнутой формы стержня от действия изгибающего момента на хорду этого стержня можно пренебречь;
- деформирование стержня происходит упруго;
- в ходе всего процесса деформирования пологой пирамиды потери устойчивости её стержней и стержней соседних пирамид не происходит;
- углы наклона стержней к касательной плоскости к поверхности оболочки в точке расположения узла малы, значение синусов и тангенсов этих углов приблизительно равно самому углу в радианах;
- прямая, соединяющая центр кривизны в точке и саму исследуемую точку, лежит в плоскости наибольшей жёсткости рассматриваемых стержней;
- узловaя нагрузка неизменна по величине для каждого из узлов сетчатой конструкции.

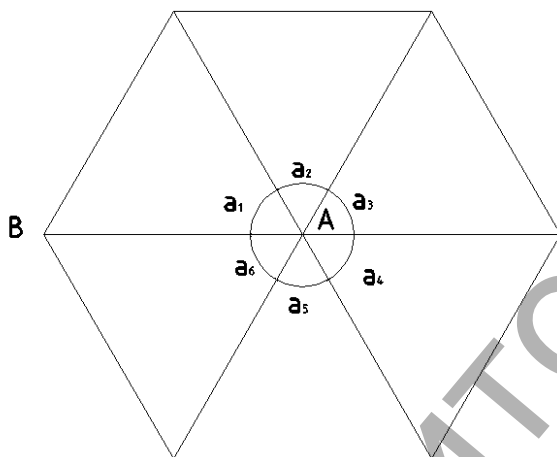


Рис. 1. Рассматриваемый фрагмент стержневой оболочки

При решении этой задачи будут вычисляться внутренние усилия в стержнях и опорные реакции в рассматриваемом узле.

Рассмотрим стержень AB . Угол наклона оси стержня к касательной плоскости обозначим за β (этот же угол между осью стержня и перпендикуляром на радиус кривизны поверхности в точке B). Расчётная схема при выделении его из сетчатой оболочки показана на рис. 2. Стержень AB нагружен силами и моментами, определёнными на первом этапе статического расчёта.

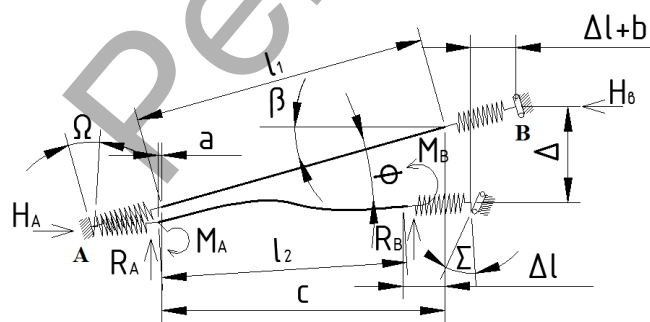


Рис. 2. Расчётная схема стержня

Γ_A – отпорность моментной опоры A ;

Γ_B – отпорность моментной опоры B ;

k_1 – отпорность силовой опоры A ;

k_3 – отпорность силовой опоры B .

При угловом перемещении хорды стержня произойдёт линейное и угловое перемещение опор A и B . Угол φ отсчитывается от первоначального направления хорды стержня AB до состояния, когда произойдут дополнительные перемещения. При этом произойдёт приращение продольной силы N , поперечной силы Q и момента M .

Спроецируем на вертикальную ось реакции опор, вызванные угловыми и линейными перемещениями опор A и B . Общая запись проекций сил, составляющих реакцию каждой из опор, примет следующий вид:

$$R_i = N \sin(\beta - \varphi) + Q \cos(\beta - \varphi), \quad (1)$$

где N – продольная сила, вызванная линейными перемещениями опор, Q – сумма реакций опор, вызванных относительным смещением опоры B от опоры A , поворотов опор A и B , полученных в системе без учёта геометрической нелинейности. Для удобства использования формулы (1) следует разложить $\cos(\beta - \varphi)$ и $\sin(\beta - \varphi)$ в ряд Тейлора-Маклорена с точностью до третьего слагаемого.

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos(\beta - \varphi) \approx 1 - \frac{(\beta - \varphi)^2}{2!} + \frac{(\beta - \varphi)^4}{4!} \\ \sin(\beta - \varphi) \approx (\beta - \varphi) - \frac{(\beta - \varphi)^3}{3!} + \frac{(\beta - \varphi)^5}{5!} \end{array} \right. \quad (2)$$

Поскольку углы β, φ – малые, а величины $(\beta - \varphi)^n$ являются малыми величинами n -го порядка и близки к нулю. Таким образом, можно принять, что $\cos(\beta - \varphi) \approx 1 \cdot \sin(\beta - \varphi) \approx \beta - \varphi$.

Перепишем уравнение (1) в следующем виде:

$$R_b = N(\beta - \varphi) + Q. \quad (3)$$

Продольную силу N запишем, исходя из закона Гука

$$N = \varepsilon EA = \frac{\Delta l}{l} EA \approx \frac{\Delta l}{c} EA, \quad (4)$$

где A – площадь поперечного сечения стержня;

E – модуль упругости материала стержня;

ε – относительная продольная деформация;

Δl – сближение торцов стержней,

c – проекция длины l стержня AB на касательную плоскость.

Выразим первоначально Δl_N через перемещения:

$$\Delta l = \Delta l_N - a - b, \quad (5)$$

где Δl_N – изменение длины хорды стержня при изменении угла φ и неподвижных опорах A и B ;

a, b – перемещения узлов A и B из-за силовой отпорности опор A и B .

Запишем выражение для определения Δl_N , используя [10]:

$$\Delta l_N = c \cdot \varphi \left(\beta - \frac{1}{2} \varphi \right). \quad (6)$$

Для определения перемещений опор a и b используем расчётную схему (рис. 1), полагая, что группы элементов сетчатой оболочки за опорами A и B имеют линейную характеристику деформирования. Так, они представлены в виде пружин, последовательно соединённых с рассматриваемым стержнем. Поскольку продольная сила в стержне и пружинах в представленной расчётной схеме одинакова, запишем перемещения $a, b, \Delta l_N$ следующим образом:

$$k_1 a = \frac{\Delta l EA}{c} b = k_2 \Delta l = N; \quad (7)$$

$$a = \frac{N}{k_1}, b = \frac{N}{k_3}, \Delta l \approx \frac{Nc}{EA}; \quad (8)$$

$$a = \frac{EA}{c} \frac{1}{k_1} \Delta l, b = \frac{EA}{c} \frac{1}{k_3} \Delta l. \quad (9)$$

Подставив выражения (8) в (4), получим:

$$\Delta l = \Delta l_N - \Delta l \frac{EA}{c} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right). \quad (10)$$

Подставив вместо Δl_N запись (5), получим выражение для определения изменения длины стержня от продольной силы:

$$\Delta l = \frac{c \cdot \varphi \left(\beta - \frac{1}{2} \varphi \right)}{\left(1 + \frac{EA}{c} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3} \right) \right)}. \quad (11)$$

Заменим жёсткости опор на перемещения от единичной силы:

$$\frac{1}{k_1} = \delta_A, \frac{1}{k_3} = \delta_B. \quad (12)$$

Выражение (11) может быть переписано в другом виде:

$$\Delta l = \frac{c \cdot \varphi \left(\beta - \frac{1}{2} \varphi \right)}{\left(1 + \frac{EA}{c} (\delta_A + \delta_B) \right)}. \quad (13)$$

Относительная деформация может быть записана в следующем виде:

$$\varepsilon \approx \frac{\Delta l}{c} = \frac{\varphi \left(\beta - \frac{1}{2} \varphi \right)}{\left(1 + \frac{EA}{c} (\delta_A + \delta_B) \right)}. \quad (14)$$

Для удобства использования формулы (13) необходимо ввести переменную $\xi = \frac{\varphi}{\beta}$, выражающую угол поворота φ в долях угла β . Продольная сила N запишется следующим образом относительно переменной ξ :

$$N = EA \frac{\beta^2 \cdot \xi \left(1 - \frac{1}{2} \xi \right)}{\left(1 + \frac{EA}{c} (\delta_A + \delta_B) \right)}. \quad (15)$$

При необходимости учёта деформации узлового элемента требуется ввести в расчётную схему узлы, деформация от единичной силы которых равна δ_y . Таким образом, формула (15) может быть переписана в следующем виде:

$$N = EA \frac{\beta^2 \cdot \xi \left(1 - \frac{1}{2} \xi \right)}{\left(1 + \frac{EA}{c} (\delta_A + \delta_B + \delta_y) \right)}. \quad (16)$$

Рассмотрим изменение момента в радиальной плоскости движения стержня. Углы ориентации стержней в узле (углы между плоскостями наибольшей жёсткости и радиальной плоскостью) малы [8, 9]. С небольшой погрешностью можно принять, что линии пересечения этих плоскостей параллельны нормали к поверхности сетчатой оболочки в рассматриваемой точке. Деформацию стержня в радиальной плоскости необходимо рассмотреть потому, что в этом направлении будет происходить перемещение вершины пологой пирамиды, образованной стержнями сетчатой конструкции, объединёнными в узле-вершине.

Изгибающие моменты можно вычислить путём суммирования моментов, которые возникают от угловых перемещений торцов стержня. Сложное движение стержня и его деформации можно рассмотреть как сумму простых перемещений. Для этого воспользуемся табличными эпюрами метода перемещений. Рассмотрим вертикальное перемещение опоры B .

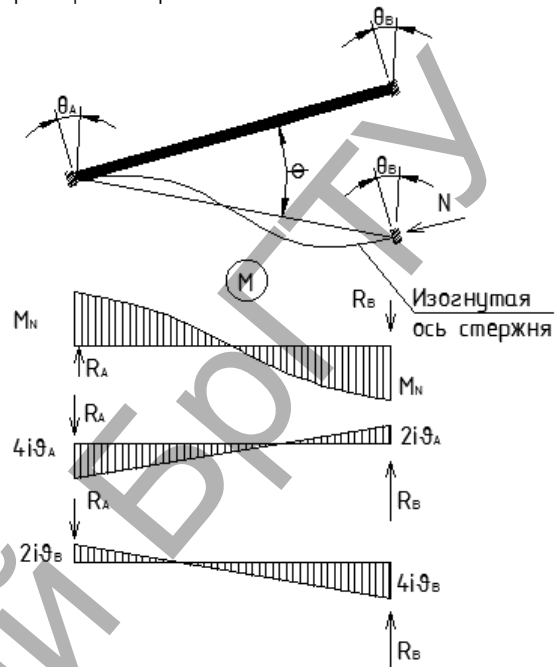


Рис. 3. Схема деформации стержня при перемещении заделки и эпюры моментов при перемещении заделки и поворотах заделок

При вертикальном перемещении опоры B , хорда стержня должна поворачиваться на угол φ . Вместе с тем из-за податливости опор A и B происходит поворот заделок, вызванный моментами на торцах стержня. Здесь и в последующих выражениях i – погонная изгибная жёсткость стержня.

Полагая прямую пропорциональность углов поворота от моментов, можно выразить следующие зависимости:

$$\vartheta_A = M_A r_A, \vartheta_B = M_B r_B, \quad (17)$$

где ϑ_A, ϑ_B – углы поворота заделок A и B , вызванные действием моментов M_A, M_B на торцах стержня. При необходимости учесть угловую деформацию узла, значения удельных угловых перемещений стержней нужно суммировать.

$$r_A = r_{Ac} + r_y, \quad (18)$$

$$r_B = r_{Bc} + r_y, \quad (19)$$

где r_{Ac}, r_{Bc} – удельные угловые деформации стержней в узле, r_y – удельная угловая деформация узла.

Суммируя значения моментов на каждой из опор, можно составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} M_A = 6i\varphi - 4iM_A r_A - 2iM_B r_B + Nc(\varphi - M_A r_A); \\ M_B = 6i\varphi - 4iM_B r_B - 2iM_A r_A + Nc(\varphi - M_B r_B), \end{cases} \quad (20)$$

где $6i\varphi$ – величина изгибающего момента при взаимном перемещении жёстких заделок на угол φ . Распор в расчётной схеме из-за малости углов наклона приближенно равен действующей продольной силе в стержне. Поэтому выражение момента от распора выражено как $Nc(\varphi - M_A r_A)$ или $Nc(\varphi - M_B r_B)$ для точек A и B соответственно.

Из системы уравнений (16) можно выразить значения моментов относительно переменной ξ :

$$M_A = \begin{pmatrix} 6i\beta\xi + \frac{EA\alpha^3\xi^2(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} & 2ir_B \\ 6i\beta\xi + \frac{EA\alpha^3\xi^2(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} & 1+4ir_B + \frac{EA\alpha^3r_B\xi(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} \end{pmatrix}; \quad (21)$$

$$M_B = \begin{pmatrix} 1+4ir_A + \frac{EA\alpha^3r_A\xi(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} & 2ir_B \\ 2ir_A & 1+4ir_B + \frac{EA\alpha^3r_B\xi(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} \end{pmatrix}$$

$$M_C = \begin{pmatrix} 1+4ir_A + \frac{EA\alpha^3\xi^2(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} & 6i\beta\xi + \frac{EA\alpha^3\xi^2(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} \\ 2ir_A & 6i\beta\xi + \frac{EA\alpha^3\xi^2(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} \end{pmatrix}; \quad (22)$$

$$M_D = \begin{pmatrix} 1+4ir_A + \frac{EA\alpha^3r_A\xi(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} & 2ir_B \\ 2ir_A & 1+4ir_B + \frac{EA\alpha^3r_B\xi(1-\frac{1}{2}\xi)}{1+\frac{EA}{c}(\delta_A+\delta_B+\delta_Y)} \end{pmatrix}$$

Критическая нагрузка на узлы пологой пирамиды будет равняться сумме реакций опор в опорных узлах пирамиды. Для удовлетворения условия местной устойчивости сетчатой конструкции необходимо потребовать, чтобы значение критической нагрузки превышало значение расчётной узловой нагрузки.

$$F_{cr} = R_i = \sum \frac{dM}{dx} + N\beta(1-\xi) > P_{ys}. \quad (23)$$

При рассмотрении деформирования пологой пирамиды в общем, необходимо учитывать, что величина $\varphi \approx \frac{\Delta}{l}$ будет отличаться у каждого стержня, поскольку зависит не только от вертикального перемещения вершины, но и от длины стержня.

Также стоит учесть взаимное влияние друг на друга углов поворота r_i при рассмотрении группы стержней, образующих ребра пологой пирамиды.

$$r_{ii} = r_i + \sum r_{ij} M_{ij}, \quad (24)$$

где r_{ii} – суммарный угол поворота в i -м узле;

r_i – угол поворота i -м узле от единичного момента;

$\sum r_{ij} M_{ij}$ – суммарный угол поворота в i -м узле от действия моментов в других рассматриваемых опорных узлах пирамиды.

Положительное направление углов поворота принято направленным по ходу часовой стрелки.

То же утверждение справедливо и для отыскания δ_{ii}

$$\delta_{ii} = \delta_i + \sum \delta_{ij} N_{ij}, \quad (25)$$

где δ_{ii} – суммарное линейное перемещение i -го узла;

δ_i – линейное перемещение в i -го узла от единичной продольной силы в стержне;

$\sum \delta_{ij} N_{ij}$ – линейное перемещение i -го узла от действия продольных сил в других стержнях пирамиды.

Пусть поверхность сетчатой конструкции задана уравнением $F(x, y, z) = 0$, тогда уравнение нормали к ней в точке с заданными координатами $D(x_0, y_0, z_0)$ запишется следующим образом [12]:

$$\frac{X-x_0}{\frac{\partial F}{\partial x}} = \frac{Y-y_0}{\frac{\partial F}{\partial y}} = \frac{Z-z_0}{\frac{\partial F}{\partial z}}, \quad (26)$$

где $\frac{\partial F}{\partial x} = b_x$, $\frac{\partial F}{\partial y} = b_y$, $\frac{\partial F}{\partial z} = b_z$ – частные производные функции $F(x, y, z) = 0$ в точке $D(x_0, y_0, z_0)$.

Ось стержня можно записать в виде прямой, которой также принадлежит точка $D(x_0, y_0, z_0)$.

$$\frac{X-x_0}{a_x} = \frac{Y-y_0}{a_y} = \frac{Z-z_0}{a_z}. \quad (27)$$

Угол между нормалью и осью стержня в точке-узле сетчатой конструкции запишется в виде:

$$\cos \alpha' = \frac{|a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z|}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \cdot \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}. \quad (28)$$

Поскольку нормаль к поверхности в данной точке перпендикулярна касательной плоскости, то угол между касательной плоскостью и осью стержня запишется следующим образом:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha'. \quad (29)$$

Следует отметить, что формула (29) справедлива при незначительной разнице в длинах стержней сетчатой конструкции. Проверку местной устойчивости при постоянном значении внешней нагрузки необходимо выполнять в местах, где происходит изменение поперечных сечений стержней купола, объединённых в один узел, в местах, где угол β наименьший и радиус кривизны наибольший (кривизна поверхности наименьшая).

Уравнение для отыскания нормальной кривизны поверхности запишется в виде [13]:

$$k_n = \frac{II}{I}, \quad (30)$$

где II и I – вторая и первая квадратичные формы поверхности соответственно. Для простых поверхностей квадратичные формы являются табличными величинами.

Заключение. Из изложенных выше зависимостей следует:

- получена формула для вычисления критической нагрузки на узел для сетчатых конструкций произвольной формы с жесткими узлами, нагруженными равной по величине узловой нагрузкой;
- формулу для вычисления критической узловой нагрузки следует применять для отдельных выпуклых многогранников на поверхности, продольная сила в стержнях которых максимальна по результатам линейного статического расчёта;
- процесс перехода фрагмента сетчатой поверхности из выпуклого состояния в вогнутое при наличии стержней разных длин и жесткостей не будет мгновенным; при одном и том же вертикальном перемещении один и тот же пространственный многоугольник сетки может быть вогнутым или выпуклым, в зависимости от расположения радиальной плоскости, в которой рассматривается процесс деформации его элементов;
- процесс деформирования стержней пирамиды, образованной стержнями, объединёнными в один узел, не будет связан с прямо пропорциональным приращением усилий в стержнях при заданном приращении нагрузки; не существует линейной зависимости между узловой нагрузкой и усилиями в стержнях;

- выше представленные формулы являются универсальными, то есть, полагая $r_i = 0$, можно получить зависимости для сетчатых конструкций с абсолютно жёсткими узлами, полагая же $r_i = \infty$ и $\phi_i = 0$ – могут быть получены зависимости для шарнирно-стержневых сетчатых конструкций.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Металлические конструкции: учебное пособие: в 3 т. / В.В. Горев [и др.]. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. школа, 2004. – Т. 2: Конструкции зданий. – 528 с.
2. Лепницкий, М.Е. Купола (расчёт и проектирование): практическое пособие / М.Е. Лепницкий, М.Е. Дьяков. – Ленинград: Стройиздат, 1973. – 129 с.
3. Беленя, Е.И. Металлические конструкции: учебное пособие / Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
4. Klöppel, K. Zur Berechnung von Netzkuppeln / K. Klöppel, R. Schardt // Der Stahlbau. – 1962. – № 5. – P. 129–136.
5. Журавлёв, А.А. Устойчивость пирамидальных элементов сетчатого купола / А.А. Журавлёв // Межотраслевые вопросы строительства / ЦИНИС, реферат. инф. – М., 1972. – Вып. 4. – С. 66–70.
6. Журавлёв, А.А. Местная устойчивость куполов с треугольными ячейками / А.А. Журавлёв, В.В. Мартинец // Межотраслевые вопросы строительства / ЦИНИС, реферат. инф. – М., 1971. – Вып. 8. – С. 8–10.
7. Matthees, W. Experimentelle und theoretische Untersuchung des Trag- und Stabilitätsverhaltens einschaliger räumlicher Gelenknetzwerke im elastischen Bereich / W. Matthees, P. Wegener // IVBH Kongressbericht. – Berlin, BRD: Bundesanstalt für Materialprüfung, 1972. – S. 473–478.
8. Савельев, В.А. Влияние начальных несовершенств и неравномерности загрузки на устойчивость сферического купола с жёсткими узлами / В.А. Савельев // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1971. – № 5. – С. 32–34.
9. Савельев, В.А. Теоретические основы проектирования металлических куполов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / В.А. Савельев. – М., 1995. – 39 с.
10. Вольмир, А.С. Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1967. – 948 с.
11. Борисевич, А.А. Строительная механика / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: БНТУ, 2009. – 756 с.
12. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление: учебное пособие: в 2 т. / Н.С. Пискунов. – СПб.: Наука, 1985. – Т. 2. – 560 с.
13. Рашевский, П.К. Курс дифференциальной геометрии: учебное пособие / П.К. Рашевский. – М.: ГИТТЛ, 1950. – 440 с.

Материал поступил в редакцию 29.12.15

DRAGAN V.I., GLUSHKO K.K. Research of the intense deformed condition of cores of steel mesh domes with rigid knots

Dependences between nodal loading and internal efforts in dome fragment rods in the radial plane at geometrically nonlinear process of deformation of a fragment of system – a single indent.

УДК 624.014.27

Драган В.И., Глушко К.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЫПУКЛЫХ СТЕРЖНЕВЫХ МНОГОГРАННИКОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКИ¹

Введение. При решении задачи о местной устойчивости одно-сетчатой конструкции важно изначально определить, действует ли равная или неравная по значению нагрузка на узлы конструкции. При равной по значению узловой нагрузке проверку местной устойчивости необходимо производить по нескольким методикам [1–5].

Существуют методы расчёта на местную устойчивость при неравной по значению нагрузке [3, 6], однако они не учитывают изменение геометрии сетчатой поверхности. Таким образом, влияние нагрузки в соседнем узле на деформирование сетки в соседнем фрагменте сетки рассмотрено недостаточно. В этой работе выполнена попытка учесть по возможности каждое из рассмотренных воздействий.

Нижеизложенные зависимости справедливы для шарнирно-стержневой и для жёстко-стержневой расчётной схемы с треугольной решёткой, полученной проецированием на поверхность пологой сферической оболочки сетки из равносторонних треугольников.

На рисунке 1 изображена сетчатая конструкция с приложенной к ней неравномерной узловой нагрузкой, симметричной относительно вертикальной оси.

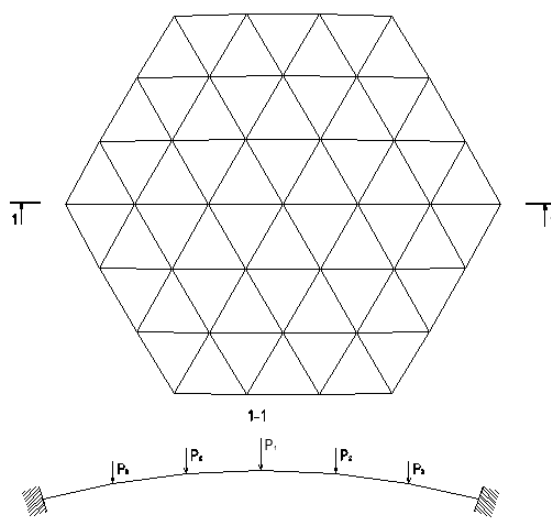


Рис. 1. Вид сверху и разрез рассматриваемой конструкции

Рассматривая процесс деформирования при неравной по величине осесимметричной нагрузке, можно отдельно учесть деформирование конструкции при равной по величине нагрузке и при неравной осесимметричной нагрузке обратного знака. Итак, вначале необходимо приложить в узлы нагрузку F_1 и сложить воздействие от нагрузки P_i таким образом, чтобы соблюдалось равенство:

¹ Представленная работа является развитием статьи «Исследование напряжённо-деформированного состояния стержней стальных сетчатых куполов» авт. Драгана В.И., Глушко К.К.