

- необходимость объективного учета сложного характера изменения во времени нагрузок и новых статистических данных;
- учет вероятностных свойств воздействий, в частности, представление воздействий в виде случайных процессов и анализ их взаимодействий;
- установление корреляционных связей между воздействиями, так как не все воздействия могут быть отнесены к независимым.

Список цитированных источников

1. Перельмутер, А. В. Расчетные сочетания нагрузок для проверки надежности конструкций (обзор) / А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. – 2015. – № 15. – С. 4.
2. Шпете, Г. Надёжность несущих строительных конструкций / Г. Шпете – Москва : Стройиздат, 1994. – 288 с.
3. Еврокод. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990-2011. Введ. 01.07.12. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. – 70 с.
4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: EN 1991-1-2-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : МАиС РБ, 2009. – 50 с.
5. Мартынов, Ю. С. Вероятностные модели воздействий для условий Республики Беларусь / Ю. С. Мартынов, В. В. Надольский // Вестник Полоцкого государственного университета. – Серия F: Прикладные науки. Строительство. – 2014. – № 16. – С. 13–19.
6. Nadolski, V. A first attempt to determine the partial factors according to Eurocodes for the verification of ULS of steel elements for conditions of the Republic of Belarus / V. Nadolski, V. Tur // Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering –2016 – Vol. 14 (No 1) – P. 44 – 50.

УДК 624.014

ПОТЕРЯ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ СЕТЧАТЫХ КУПолов С ЖЁСТКИМИ УЗЛАМИ

Глушко К. К.

Введение. Сетчатые купола обладают архитектурной выразительностью, высокой жёсткостью, небольшим расходом материалов. Однако широкому распространению конструкций такого вида препятствует недостаточная изученность их работы под действием внешней нагрузки. Несмотря на широкое распространение компьютерных программ для расчёта строительных конструкций, ряд задач, связанных с устойчивостью сетчатых куполов, остаётся нерешённым. Одно из явлений, сопровождающееся геометрически нелинейным процессом деформирования, является потерей местной устойчивости формы сетчатого купола, проявляющаяся во внезапном переходе одного из стержневых многогранников, образующих купол, из выпуклого состояния в вогнутое - происходит потеря устойчивости формы стержневого многогранника.

Разработкой и совершенствованием аналитических методов расчёта потери местной устойчивости сетчатых куполов занимались К. Клёпель и Ф. Шардт, Д. Райт, В. А. Савельев, А. А. Журавлёв, Т. Судзуки, Т. Огава, К. Иракаши, М. Сайто, И. Хангай, И. Тода, Т. Ямагива, Т. Окухара и другие [2, 3, 5, 7–9]. Авторами отмечено, что наибольшее влияние на величину критической нагрузки, вызывающей прощёлкивание узлов сетчатого купола, оказывают форма сетчатого купола, расчётная схема сооружения, конструкции узлов, точность сборки.

Применение численных методов позволило снизить трудоёмкость решения задачи и, как следствие, уменьшить количество дополнительных математических упрощений и рассмотреть работу сетчатой конструкции более полно. Разработкой численных методов расчёта потери устойчивости стержневых многогранников шарнирно-стержневых конструкций занимались В. Гионцу, А. Лопез, А. Абатан, Ш. Като, К. Абеди, В. А. Кузнецов и другие [4, 6]. Авторами отмечено, что достоверность полученного результата зависит от сходимости выбранного алгоритма расчёта. Немногочисленность экспериментальных исследований и отсутствие сформулированных критериев определения критической узловой нагрузки затрудняет использование численных методов.

С развитием численных методов аналитические методы расчёта не утрачивают свою актуальность. Системы компьютерной математики позволяют снизить трудоёмкость вычислений и уменьшит количество упрощений, тем самым расширяя область использования аналитических методов и увеличивая их точность.

Основная часть. Метод расчёта потери местной устойчивости формы сетчатых куполов с жёсткими узлами по критерию критических узловых нагрузок, изложенный ниже, может быть использован при соблюдении следующих условий:

1) устойчивость отдельных стержней и общая устойчивость сетчатого купола обеспечена;

2) перемещения концов отдельных стержней купола перпендикулярны к оси стержня;

3) изгибные и погонные жёсткости всех стержней одинаковы;

4) метод расчёта справедлив при упругом деформировании стержней;

5) форма изгиба стержня плоская;

6) узловой элемент сетчатой конструкции считается телом исчезающе малого размера, величинами деформаций которого можно пренебречь;

7) максимальное значение внешней нагрузки прикладывается в верхнем узле рассматриваемого фрагмента сетчатого купола.

При определении изгибающих моментов и поперечных сил в стержнях относительно рассматриваемых деформаций сетчатого купола в радиальной плоскости использованы следующие допущения:

1) внешняя узловая нагрузка является осесимметричной и действует строго вертикально;

2) радиальные плоскости, проходящие через ось стержня и центр описанной вокруг стержневой оболочки сферы, приняты перпендикулярными плану сетчатого купола;

3) в силу малости углов наклона рассматриваемых стержней к горизонтальной плоскости принято, что действие поперечных сил в стержнях вертикально.

При потере местной устойчивости сетчатого купола к центру кривизны описанной сферы происходит изменение напряжённо-деформированного состояния не только стержней отдельно взятого многогранника, но и соседних стержневых многогранников. Для решения задачи потери устойчивости формы стержневого многогранника в составе сетчатого купола следует определить размер области, оказывающей максимальное влияние на точность решения задачи. Произведено сравнение диаграмм равновесных состояний, полученных в трёхъярусной модели с шарнирно-подвижными опорными узлами и в двухъярусной модели с шарнирно-подвижным и шарнирно-неподвижным опиранием. Двухъярусный и трёхъярусный сетчатые купола рассчитывались на дей-

ствии узловой осесимметричной нагрузки. Значение нагрузки в верхнем узле принималось равным или превосходило значения нагрузки в остальных узлах.

На рисунке 1 изображён план трёхъярусного фрагмента сетчатого купола.

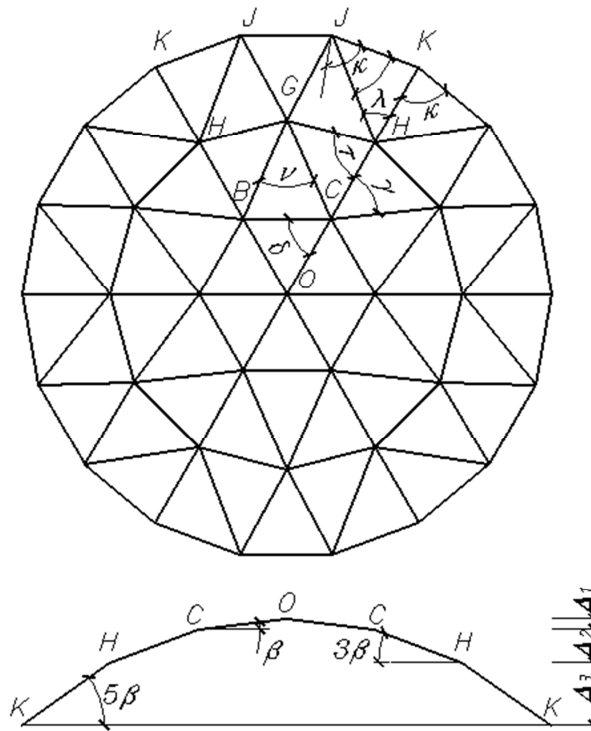


Рисунок 1 – Трёхъярусный фрагмент сетчатого купола

Важнейшим параметром, определяющим характер деформирования стержневого многогранника, является эквивалентная гибкость сетчатого купола, которая может быть выражена в следующем виде:

$$n = \frac{EA\beta^3 c^2}{\beta EI} = \frac{\beta^2 c^2}{\rho^2} \approx \frac{\Delta^2}{\rho^2}, \quad (1)$$

где c – длина стержня, ρ – радиус инерции поперечного сечения стержня в радиальной плоскости купола, Δ – стрела подъёма верхнего многогранника, EI – изгибная жёсткость стержня купола.

Внешняя вертикально действующая нагрузка, приложенная к узлам рассматриваемого трёхъярусного сетчатого купола, должна быть уравновешена внутренними усилиями в стержнях, определённых вблизи рассматриваемых узлов. Уравнения равновесия в случае отсутствия сосредоточенных моментов можно записать в следующем виде:

$$P_0 = k(N_{CO}\beta(1-\chi) + Q_{CO}); \quad (2)$$

$$P_C = (N_{CH} + 2N_{CG})3\beta(1-\eta) - N_{CO}\beta(1-\chi) - Q_{CO} + Q_{CH} + 2Q_{CG}; \quad (3)$$

$$P_H = (N_{HI} + 2N_{HK})5\beta(1-\xi) - N_{CH}3\beta(1-\eta) - Q_{CH} + Q_{HI} + 2Q_{HK}, \quad (4)$$

где N_{CO} , N_{CH} , N_{CG} , N_{HI} , N_{HK} – продольное усилие в стержнях CO , CH , CG , HI , HK соответственно; Q_{CO} , Q_{CH} , Q_{CG} , Q_{HI} , Q_{HK} – поперечные силы в тех же стержнях, k – число стержней, соединяемых в верхнем узле; углы β , 3β , 5β – углы между горизонтальной плоскостью и осями радиальных стержней первого сверху,

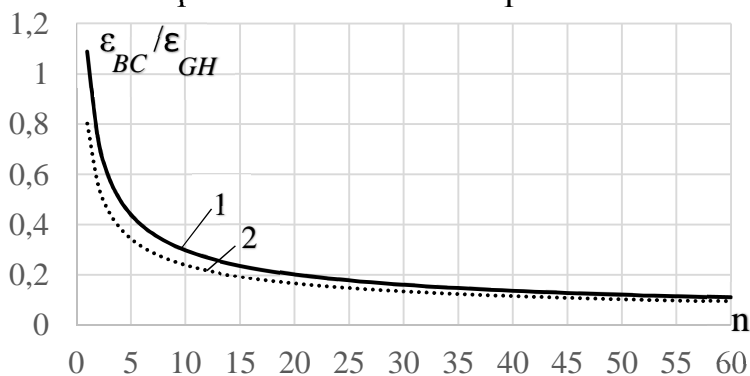
второго и третьего ярусов соответственно; χ, η, ξ – безразмерные параметры перемещений первого, второго и третьего яруса, численно равные отношению вертикального перемещения одного конца узла относительно другого к полной высоте яруса в проектном положении. Внутренние усилия стержней кольцевых рядов не входят в уравнения равновесия на вертикальную ось, поскольку в проектном положении и деформированном состоянии эти стержни горизонтальны, поперечные силы в них вблизи узлов равны нулю, поскольку испытывают чистый изгиб. При геометрически нелинейной работе рассматриваемого сетчатого купола использование принципа независимости действия сил невозможно. По этой причине величины параметров перемещений узлов χ, η, ξ не являются взаимонезависимыми. Значения двух из них следует определять, задаваясь значением одного из параметров, решая систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{P_C}{P_O} = \frac{3(\bar{\varepsilon}_{CH} + 2\bar{\varepsilon}_{CG})(1-\eta) - \bar{\varepsilon}_{CO}(1-\chi) + \bar{Q}_{CO} - \bar{Q}_{CH} - 2\bar{Q}_{CG}}{k(\bar{\varepsilon}_{CO}(1-\chi) - \bar{Q}_{CO})} \\ \frac{P_H}{P_O} = \frac{5(\bar{\varepsilon}_{HJ} + 2\bar{\varepsilon}_{HK})(1-\xi) - 3\bar{\varepsilon}_{CH}(1-\eta) + \bar{Q}_{CH} - \bar{Q}_{HK} - 2\bar{Q}_{HJ}}{k(\bar{\varepsilon}_{CO}(1-\chi) - \bar{Q}_{CO})} \end{cases}, \quad (5)$$

где $\bar{\varepsilon} = N/(\beta^3 EA)$ – параметр продольной деформации; $\bar{Q} = Q/(\beta^3 EA)$ – параметр поперечной силы; EA – продольная жёсткость стержней.

Полученные диаграммы равновесных состояний верхнего стержневого многогранника в двухъярусной и трёхъярусной моделях не имеют значительных расхождений, что свидетельствует о малом влиянии параметров перемещений узлов третьего яруса ξ . Величины параметров перемещений ξ не вызывают нелинейного изменения внутренних усилий в стержнях. Установлено, что с увеличением значения эквивалентной гибкости уменьшается влияние продольных деформаций стержней типа GH на продольные деформации стержней BC , определённых в трёхъярусной модели. На основе этого можно сделать вывод, что для сравнения диаграмм равновесных состояний верхнего стержневого многогранника, определённых в трёхъярусной и двухъярусной модели, двухъярусная модель должна содержать две расчётные схемы: с шарнирно-подвижным и шарнирно-неподвижным опиранием. На рисунке 2 изображены зависимости отношения продольных деформаций стержней типа BC к GH от эквивалентной гибкости.

В принятых за основу двухъярусных моделях сетчатого купола был произведён учёт продольно-поперечного изгиба в стержнях.



1 – для расчётной схемы купола, содержащей верхний стержневой многогранник в виде правильного шестиугольника в плане, 2 – то же, в виде правильного пятиугольника в плане

Рисунок 2 – Изменение соотношения продольных деформаций стержней $\varepsilon_{BC}/\varepsilon_{GH}$

Ввиду наличия некоторой погрешности изготовления стержней и узлов, отклонений от размеров, назначенных в проекте сетчатой конструкции, может наступить некоторое искажение её формы. Наличие начальных несовершенств формы сетчатого купола, безусловно, влияет на величины критических узловых нагрузок, вызывающих потерю местной устойчивости его формы.

При построении конструктивной сети чаще всего дуги меридионального направления разделяются на равные по длине отрезки. По этой причине высота верхнего яруса втрое меньше высоты второго сверху яруса. При наличии отклонений центров узлов сетчатых куполов от описанной сферы, высоты двух верхних ярусов соотносятся следующим образом:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{c\beta}{3c\beta m} = \frac{1}{3m}, \quad (6)$$

где Δ_1 и Δ_2 – высоты первого и второго сверху яруса соответственно. Коэффициент m здесь показывает величину отклонения отношения высот первого и второго ярусов от $1/3$. Значения $m < 1$ соответствуют более выпуклой форме стержневого многогранника, чем требуется, $m > 1$ – более пологой форме. При учёте начальных несовершенств формы сетчатого купола учитываются лишь отклонения узлов от описанной вокруг конструкции сферы без учёта внутренних усилий в стержнях, вызванных неточностью сборки. Изменение параметров поперечных сил в процессе деформирования стержневой системы представлены в виде следующих уравнений:

$$\bar{Q}_C^{CO} = \frac{u_{CO}^2}{2n \left(\operatorname{tg} \frac{u_{CO}}{2} - \frac{u_{CO}}{2} \right)} \left(u_{CO} \chi - \Theta_C \operatorname{tg} \frac{u_{CO}}{2} \right); \quad (7)$$

$$\bar{Q}_B^{BC} = 0; \quad (8)$$

$$\bar{Q}_C^{CH} = \frac{3u_{CH} \eta m - \Theta_C \operatorname{tg} u_{CH}}{n} \frac{u_{CH}^2}{\operatorname{tg} u_{CH} - u_{CH}}; \quad (9)$$

$$\bar{Q}_C^{CG} = \frac{3u_{CG} \eta m - \Theta_C \cos \gamma \cdot \operatorname{tg} u_{CG}}{n} \frac{u_{CG}^2}{\operatorname{tg} u_{CG} - u_{CG}}, \quad (10)$$

где $\Theta_C = \theta_C / \beta$ – параметр угла поворота узла C ; θ_C – абсолютное значение угла поворота узла C . Величина u в этих формулах может быть записана в виде следующего выражения, как и для задач Эйлеровой потери устойчивости [1]:

$$u = c \sqrt{\frac{N}{EI}} = \sqrt{\frac{\varepsilon \beta^2 c^2 EA}{EI}} = \sqrt{n \varepsilon}. \quad (11)$$

В двухъярусной модели сетчатого купола с шарнирно-подвижными опорами параметры продольных деформаций стержней могут быть записаны в виде следующих выражений:

$$\bar{\varepsilon}_{BC} = 2 \cos \delta \frac{-\chi(1-0.5\chi)(1+4\cos^2 \tau) + 36\eta m^2(1-0.5\eta)\cos^2 \tau \left(1 + \frac{\cos \gamma}{\cos 0.5\nu}\right)}{(1+4\cos^2 \tau)(1+4\cos^2 \delta) + 4\cos^2 \tau \left(1 + \frac{\cos \gamma}{\cos 0.5\nu}\right)}, \quad (12)$$

$$\bar{\varepsilon}_{CH} = \left(9m^2\eta(1-0.5\eta) - \frac{\varepsilon_{BC}}{2\cos\delta} \right) \frac{4\cos^2\tau}{1+4\cos^2\tau}. \quad (13)$$

В двухъярусной модели с неподвижным опорным контуром эти же законы записываются следующим образом:

$$\bar{\varepsilon}_{BC} = 2\cos\delta\cos0.5\nu \frac{-\chi(1-0.5\chi) + 9m^2\eta(1-0.5\eta) \left(1 + \frac{\cos\gamma}{\cos0.5\nu} \right)}{4\cos^2\delta\cos0.5\nu + 2\cos0.5\nu + \cos\gamma}, \quad (14)$$

$$\bar{\varepsilon}_{CH} = 9m^2\eta(1-0.5\eta) - \frac{\varepsilon_{BC}}{2\cos\delta}. \quad (15)$$

Законы изменения параметров продольных деформаций остальных стержней общие для обеих моделей:

$$\bar{\varepsilon}_{OC} = \chi(1-0.5\chi) + \frac{\bar{\varepsilon}_{BC}}{2\cos\delta}, \quad (16)$$

$$\bar{\varepsilon}_{CG} = \frac{\bar{\varepsilon}_{CH}}{2\cos0.5\nu}, \quad (17)$$

где δ , γ , ν – углы между стержнями в плане.

Взаимосвязь между параметрами перемещений χ и η в двухъярусной модели с учётом начальных несовершенств формы сетчатого купола устанавливается при помощи следующего уравнения:

$$\frac{P_C}{P_0} = \frac{3m(\bar{\varepsilon}_{CH} + 2\bar{\varepsilon}_{CG})(1-\eta) - \bar{\varepsilon}_{CO}(1-\chi) - \bar{Q}_{CO} + \bar{Q}_{CH} + 2\bar{Q}_{CG}}{k(\bar{\varepsilon}_{CO}(1-\chi) + \bar{Q}_{CO})}. \quad (18)$$

На рисунках 3 и 4 изображены диаграммы равновесных состояний стержневого многогранника в виде правильного шестигранника либо пятигранника в плане в составе геодезического купола без учёта начальных несовершенств формы. Локальные максимумы параметров нагрузок соответствуют критическим значениям, при достижении которых происходит потеря устойчивости второго рода. В качестве критерия устойчивости стержневого многогранника с сохранением его выпуклой формы следует использовать следующее неравенство:

$$\frac{P_{yz}}{\beta^3 EA \cdot \omega} < P_{\max}, \quad (19)$$

где ω – коэффициент, учитывающий изменение величины критической нагрузки из-за наличия начальных несовершенств формы сетчатого купола, величина P_{\max} – максимальный параметр нагрузки, определяемый по аналитическим диаграммам равновесных состояний стержневого многогранника, выраженных в виде функциональной зависимости:

$$p = k(\bar{\varepsilon}_{CO}(1-\chi) + \bar{Q}_{CO}), \quad (20)$$

Диаграммы равновесных состояний стержневых многогранников сетчатых куполов, имеющих в плане вид правильных шестиугольника и пятиугольника,

изображены на рисунках 3 и 4 соответственно. Значения коэффициентов ω даны в таблице 1.

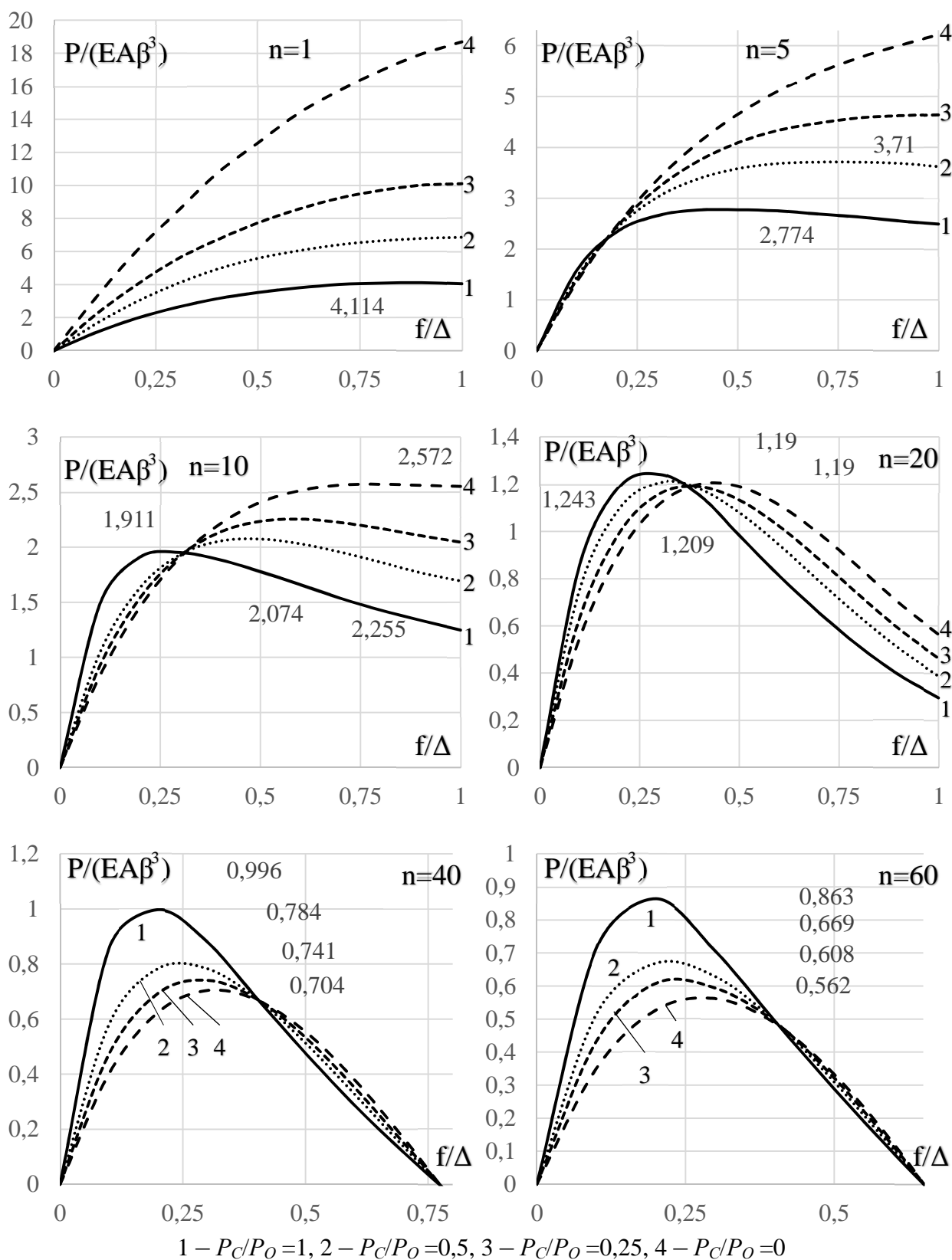
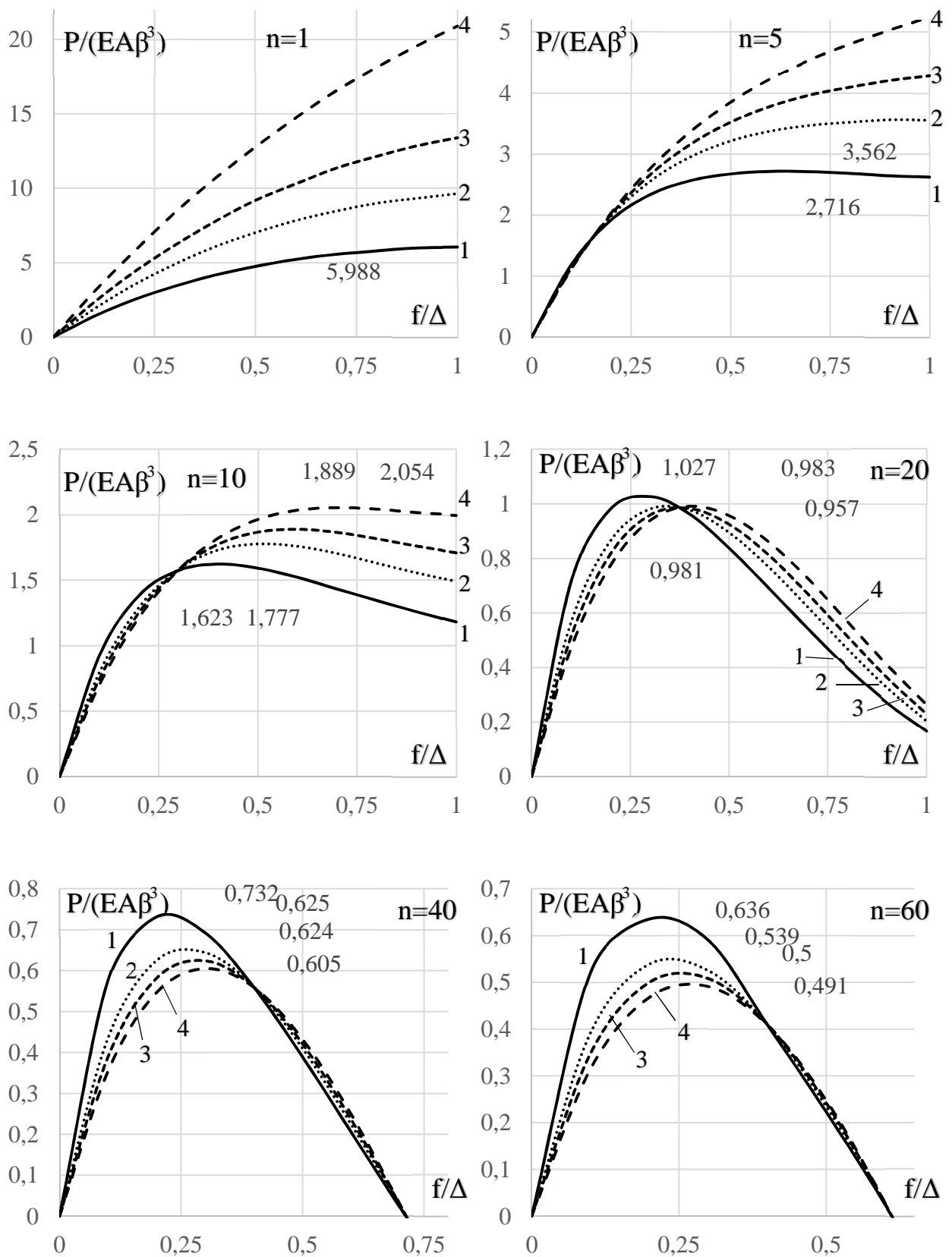


Рисунок 3 – Диаграммы равновесных состояний верхнего фрагмента в виде правильного шестиугольника в плане в зависимости от параметра перемещений $\chi=f/\Delta^1$

¹ Примечание: выносками на диаграмме равновесных состояний верхнего фрагмента сетчатого купола указаны величины критических параметров узловых нагрузок, соответствующих локальным максимумам.



1 – $P_c/P_0=1$, 2 – $P_c/P_0=0,5$, 3 – $P_c/P_0=0,25$, 4 – $P_c/P_0=0$

Рисунок 4 – Диаграммы равновесных состояний верхнего фрагмента в виде правильного пятиугольника в плане в зависимости от параметра перемещений $\chi=f/\Delta^2$

² Примечание: выносками на диаграмма равновесных состояний верхнего фрагмента сетчатого купола указаны величины критических параметров узловых нагрузок, соответствующих локальным максимумам.

Таблица 1 – Значения коэффициентов ω для учёта начальных несовершенств формы сетчатого купола³

Верхний стержневой многогранник в виде правильного шестиугольника в плане	n	m=0.8				n	m=0.9			
		P_c/P_0					P_c/P_0			
		1	0.5	0.25	0		1	0.5	0.25	0
	1	0.936	0.925^{0.9}	-	-	1	0.961	0.949^{0.9}	-	-
	5	0.696	0.783	0.826^{0.8}	-	5	0.867	0.891	0.922^{0.8}	-
	10	0.974	0.921	0.937	0.955	10	1.027	0.96	0.971	0.979
	20	1.011	1.014	0.992	1.011	20	1.19	0.97	0.997	1.01
	40	1.18	1.096	1.024	1.016	40	1.082	1.057	1.011	1.007
	60	0.999	1.1	1.02	1.018	60	1.03	1.043	0.99	1.009
Верхний стержневой многогранник в виде правильного пятиугольника в плане	n	m=1.1				n	m=1.2			
		P_c/P_0					P_c/P_0			
		1	0.5	0.25	0		1	0.5	0.25	0
	1	1.085	-	-	-	1	1.184	-	-	-
	5	1.107	-	-	-	5	1.202	-	-	-
	10	1.041	1.029	1.023	0	10	1.055	1.053	1.04	0
	20	1.086	0.992	1.002	1.007	20	1.038	0.984	1.002	1.005
	40	0.991	0.985	0.989	0.993	40	0.94	0.972	0.98	0.989
	60	0.979	0.966	0.967	0.993	60	0.925	0.94	0.959	0.989
Верхний стержневой многогранник в виде правильного пятиугольника в плане	n	m=0.8				n	m=0.9			
		P_c/P_0					P_c/P_0			
		1	0.5	0.25	0		1	0.5	0.25	0
	1	0.94	-	-	-	1	0.972	-	-	-
	5	0.75	0.808	-	-	5	0.886	0.908	0.927	-
	10	0.905	0.933	0.949	0.967	10	0.957	0.973	0.978	0.986
	20	1.002	1.009	0.994	1.001	20	1.003	1.005	0.999	1.001
	40	1.111	1.054	1.016	1.012	40	1.045	1.021	1.008	1.007
	60	1.091	1.058	1.036	0.546	60	1.041	1.024	1.024	0.543
Верхний стержневой многогранник в виде правильного пятиугольника в плане	n	m=1.1				n	m=1.2			
		P_c/P_0					P_c/P_0			
		1	0.5	0.25	0		1	0.5	0.25	0
	1	1.075	-	-	-	1	-	-	-	-
	5	1.091	-	-	-	5	1.168	-	-	-
	10	1.028	1.021	1.055	1.011	10	1.049	1.037	1.028	1.021
	20	1.172	0.999	1.002	0.998	20	0.992	1.001	1.002	0.997
	40	1.052	1.022	0.995	0.997	40	0.939	1.016	0.987	0.992
	60	0.964	0.98	1.008	0.537	60	0.934	0.985	1.002	0.535

Выводы. Разработанная математическая модель расчёта потери местной устойчивости сетчатых куполов с жёсткими узлами позволяет комплексно учитывать геометрическую нелинейность, продольно-поперечный изгиб стержней и начальные несовершенства формы.

Примечание: знак «-» в таблице означает отсутствие критической нагрузки при заданном соотношении P_c/P_0 и коэффициенте m . Значение верхнего индекса при значении коэффициента ω соответствует параметру перемещения f/Δ , при котором достигается критическая нагрузка при наличии начальных несовершенств формы. Величина критической нагрузки в этом случае равна произведению коэффициента ω и нагрузки, соответствующей указанному параметру f/Δ на выбранной диаграмме равновесных состояний, изображённой на рисунке 2 или 3.

Предложен параметр эквивалентной гибкости сетчатого купола как одна из важнейших величин, определяющих характер деформирования и величину параметров критических нагрузок.

Предложены диаграммы равновесных состояний выпуклых многогранников в виде правильных шестиугольника и пятиугольника в плане для определения параметров критических нагрузок сетчатого купола.

Получен критерий устойчивости формы стержневого многогранника в составе сетчатого купола, позволяющий определить критическое значение величины внешней узловой нагрузки.

Список цитированных источников

1. Борисевич, А. А. Строительная механика / А. А. Борисевич, Е. М. Сидорович, В. И. Игнатюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : БНТУ, 2009. – 756 с.

2. Журавлев, А. А. Прощелкивание стержневой конструкции сетчатого купола в форме 980-гранника / А. А. Журавлев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1983. – № 6. – С. 34–39.

3. 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.

4. Abedi, K. Propagation of local instabilities in braced domes / K. Abedi : doctoral dissertation. – University of Surrey, 1997. – 333 p.

5. Buckling loads of reticulated single-layer domes : proceedings of the IASS symposium / M. Saitoh, Y. Hangai, I. Toda, T. Yamagiwa, T. Okuhara ; editor Heki. –Osaka, 1986. – Vol. 3. – P. 121–128.

6. Gioncu, V. Buckling of Reticulated Shells: State-of-the-Art / V. Gioncu // International Journal of Space Structures. – 1995. – Vol. 10, № 1. – P. 1–46.

7. Kato, S. Dynamic Elasto-Plastic Buckling Simulation System for Single Layer Reticular Domes with SemiRigid Connections under Multiple Loadings / S. Kato, M. Murata // International Journal of Space Structures. – 1997. – Vol. 12, № 3–4. – P. 161–172.

8. Klöppel, K. Zur Berechnung von Netzkuppeln / K. Klöppel, R. Schardt // Der Stahlbau. – 1962. – № 5. – S. 129–136.

9. Lopez, A. Numerical model and experimental tests on single-layer latticed domes with semi-rigid joints / A. Lopez, I. Puente, M. A. Serna // Computers and Structures. – 2007. – № 85. – P. 360–374.

УДК 624.014

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ СТЕРЖНЕВЫХ МНОГОГРАННИКОВ СЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ⁴

Глушко К. К.

Введение. Для определения действительного напряжённо-деформированного состояния фрагментов сетчатых куполов были проведены серии физических экспериментов. Задачей экспериментального исследования являлось подтверждение достоверности изложенной математической модели для определения критической узловой нагрузки, вызывающей потерю местной устойчивости сетчатых куполов, а также оценка влияния податливости узлов на напряжённо-деформированное состояние стержней в составе рассматриваемых фрагментов.

⁴ Представленная статья является продолжением работы «Потеря местной устойчивости формы сетчатых куполов с жёсткими узлами»