

УДК 624.074.7

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.145.2014.249268>

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЦЕССУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАДЕЖНЫХ И ЭКОНОМИЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ

Кандидаты техн. наук О.М. Пустовойтова, С.Н. Камчатная,
асп. С.Ю. Набока, студ. К.П. Лоцман

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ НАДІЙНИХ І ЕКОНОМІЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КРИТЕРІЮ

Кандидати техн. наук О.М. Пустовойтова, С.М. Камчатна, асп. С.Ю. Набока, студ. К.П. Лоцман

INNOVATIVE APPROACHES TO THE DESIGN PROCESS RELIABLY AND ECONOMICALLY-SECTION OF COMPLEX BAR SYSTEMS USING ENERGETICALLY CRITERIA

Cand. of Eng. Science O. Pustovoytova, S. Kamchatnaya, Ph.D. stud. S. Naboka, stud. K. Locman

Рассмотрены методы определения напряжённно-деформированного состояния сложных систем и инновационные подходы к процессу проектирования сооружений. Выявлена и обоснована необходимость использования энергетического критерия и теории напряжённно-деформированного состояния при подборе надежных и экономичных сечений элементов купольных конструкций.

***Ключевые слова:** метод адаптивной эволюции, напряжённно-деформированное состояние, энергетическая составляющая.*

Розглянуті методи визначення напружено-деформованого стану складних систем та інноваційні підходи до процесу проектування споруд. Виявлена і обґрунтована необхідність використання енергетичного критерію та теорії напружено-деформованого стану при підборі надійних і економічних перерізів елементів купольних конструкцій.

Ключові слова: метод адаптивної еволюції, напружено-деформований стан, енергетична складова.

The methods of determination of the tensely-deformed state of the difficult systems and innovative going are considered near the process of the civil engineering. The necessity of sharing of power criterion and theory of the tensely-deformed state is educed and reasonable at the selection of reliable and economical sections of elements of dome constructions.

Keywords: method of adaptive evolution, the stress-strain state, the energy component.

Постановка проблеми. Купольные стержневые сооружения – сложные технические системы взаимодействующих строительных элементов, позволяющие не ограничивать творческий потенциал архитектора в создании различных архитектурных форм. Переход от возможности осуществления замыслов архитектора к практическому проектированию неизбежно приводит к необходимости использования инновационных методов расчета, способствующих созданию порогов необходимых надежности и экономичности.

Развитие конструктивных форм стимулируется совершенствованием вычислительной и экспериментальной техники, а также прогрессом механики и математики в разработке новых математических методов анализа, оптимизации и синтеза конструкций на современных и перспективных ЭВМ.

Анализ последних исследований и публикаций. Работы многих ученых были направлены на создание методов расчета купольных стержневых конструкций: В.С. Шмуклер, А.Г. Юрьев, Г.В. Васильков, Ю.А. Климов. Однако эти методы не предусматривают решения такой задачи проектирования, как учет ресурсов материалов путем варьирования их композиции и формы самой конструкции, а также энергетической составляющей.

Постановка задачи. Целью статьи является решение такой задачи проектирования, как учет ресурсов материалов путем варьирования их композиции и формы самой конструкции, а также энергетической составляющей.

Основной материал исследования. Конструирование должно быть направлено на минимизацию внутренней потенциальной

энергии деформации, накапливаемой в сооружении от его собственного веса, усилий регулирования напряженного состояния и внутренних остаточных напряжений, возникших при изготовлении конструкций, всеми несущими элементами всех его конструктивных форм в сумме при всех возможных сочетаниях постоянных и временных нагрузок и воздействий. Энергетический критерий рационального проектирования был описан в работах Ю.А. Климова и В.С. Шмуклера [1]. Предлагаемый метод построения рациональных систем, в том числе и каркасных, предполагает формирование итерационных процедур, с помощью которых пошагово производится улучшение соответствующих геометрических и физико-механических параметров конструктива.

Потенциальная энергия системы в положении устойчивого равновесия достигает абсолютного минимума по перемещениям в функциональном пространстве, расширенном за счет полей функций конфигурации и (или) модулей упругости материала. В [3] предлагается выбирать из всего множества возможных значений искомых параметров такие, при которых потенциальная энергия деформаций (ПЭД) достигает нижней границы, то есть

$$U = \inf U^k, k = 1, 2, \dots,$$

где U – потенциальная энергия деформации системы, k – номер варианта.

Это происходит при приобретении конструкцией максимальных жесткостных показателей, так что в точке стационарности функционал имеет минимакс – минимум по

функциям перемещений максимумов по функциям конфигурации и (или) модулей упругости материала.

Как пример использования данного метода была рассмотрена сложная пространственно стержневая система – купольное покрытие пролётом 19,5 метров и высотой 8,75 метра (см. рис. 1).

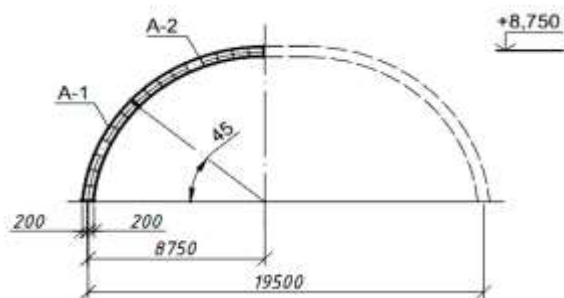


Рис. 1. Схема купола, разбивка полуарки на сегменты

Несущая конструкция ребристого купола представляет собой систему радиальных полуарок – ребер (состоящих из сегментов А-1, А-2), которые соединяются между собой сверху верхним кольцом. Полуарки составного сечения из двух швеллеров №12, а также из соединительных пластин 120х6 (см. рис. 2). В

нижней части ребра опираются на нижнее опорное кольцо, которое воспринимает распорные усилия полуарок. На фундамент купола передаются только вертикальные нагрузки.

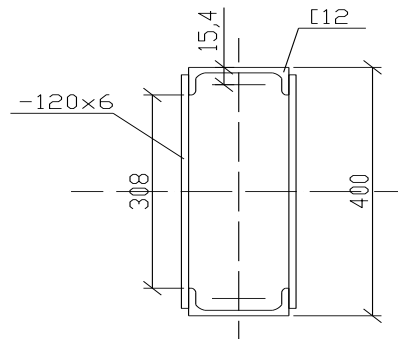


Рис. 2. Конструкция сквозной полуарки

Для сравнения была рассмотрена купольная конструкция с изменённым параметром – сокрушенностью, однако все нагрузки остались прежними, кроме собственного веса, он изменится в зависимости от изменения геометрии конструкции, которые выполнены из одного и того же материала и тех же прокатных профилей (см. рис. 3).

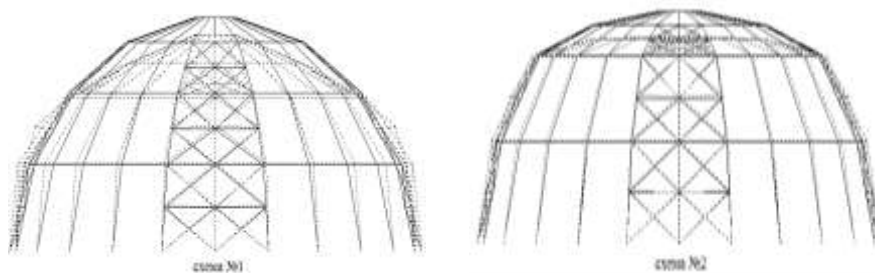


Рис. 3. Схемы купольных покрытий

Основой расчёта был расчёт энергии куполов и прогибы стержней, учитывая, что рассматривалась рациональная система, был также проведён расчёт расхода материала, использовались следующие формулы:

$$U = \sum \frac{N^2 \cdot L}{2EA}; \quad F = \frac{N_i \bar{N}_i}{EA_i} l_i,$$

где U – потенциальная энергия при внешних параметрах, F – прогибы.

Также при расчёте определялось, как изменится площадь стержней от внутренних параметров (e_u – предельная плотность энергии деформаций)

$$A_{i+1} = A_i \left(\frac{e_i}{e_u} \right); \quad e_i = \frac{\sigma^2}{2E};$$

$$e_u = 0,5\chi_\varepsilon^2[(\chi_\varepsilon + 1)e_{bcu} - (\chi_\varepsilon - 1)e_{btu}] - (1 - \chi_\varepsilon^2)e_{bshu}.$$

Учитывая тот факт, что ППЭД не является постоянной величиной, а зависит от вида напряженного состояния, считается целесообразным для ее определения приближенный подход. Вид напряженного или деформированного состояния учитывается с помощью параметров χ_σ и χ_ε Надаи-Лоде. В описанном расчёте использовался параметр Надаи-Лоде вида деформированного состояния

$$\chi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1} = 1;$$

$$e_{bcu} = e_{btu} = 0,5 \cdot R_y^2 \cdot E^{-1};$$

$$e_{bshu} = 0,625 \cdot R_y^2 \cdot E^{-1}.$$

Значения усилий в стержнях рассматриваемых куполов получены при помощи программы SCAD (таблица).

Таблица

Усилия и напряжения (от суммарной нагрузки)

Минимакс усилий и напряжений										
Наименование	Номер сечения	Номер загрузки	Максимальные значения				Минимальные значения			
			Значение				Значение			
			Номер эл-та	№ 1	Номер эл-та	№ 2	Номер эл-та	№ 1	Номер эл-та	№ 2
N	1	3	122	7.54236	168	11.5986	202	-29.348	363	-44.223
M_k	1	1	258	.003568	350	.007783	31	-.0039	372	-.00753
M_y	1	3	1	4.08258	24	5.14242	6	-2.8456	282	-5.6333
Q_z	1	3	63	3.85395	282	5.36375	68	-2.1544	24	-2.266
M_z	1	3	212	2.21202	289	1.27996	2	-0,5151	351	-4.179
Q_y	1	1	2	0.23175	389	0.53215	7	-0.1623	382	-0.5132

Выводы. Анализ численных результатов исследований показал, что более нагружена схема № 2, следовательно она более подвержена деформациям (см. рис. 4).

При рассмотрении двух систем купольного покрытия, отличающихся между собой геометрической формой и имеющих одинаковое нагружение, стало ясно, что с точки зрения max и min значений усилий более рациональной является схема № 1:

($N_{\max \text{ № 1}} = 7,54236 \text{ кН} < N_{\max \text{ № 2}} = 11,5986 \text{ кН}$;
 $N_{\min \text{ № 1}} = -29,348 \text{ кН} < N_{\min \text{ № 2}} = -44,223 \text{ кН}$).

При рассмотрении энергетической составляющей различия энергетического баланса не столь велики, окончательное решение о принятии рациональной системы всё же будет на основе деформаций и усилий, учитывая, что в схеме № 1 они меньше, принимаем как наиболее рациональную именно эту схему.

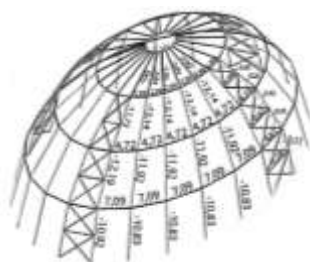


Схема № 1



Схема № 2

Рис. 4. Распределения усилий от постоянной нагрузки, на примере основных стержней

При исследовании куполов каждый анализируемый вариант имел свои «плюсы» и «минусы», при этом для получения оптимального проекта купола при заданной геометрии разработана методика решения задачи об оптимальном выборе купола из

условий прочности и местной устойчивости с использованием итерационного метода. Анализ проведенных расчетов по данной методике показывает, что применение итерационного метода с дискретными переменными позволяет эффективно решать проектные задачи.

Список использованных источников

1. Шмуклер, В.С. Каркасные системы облегченного типа [Текст] / В.С. Шмуклер, Ю.А.Климов, Н.П. Бурак. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
2. Юрьев, А.Г. Генетические алгоритмы оптимизации строительных конструкций [Текст] / А.Г. Юрьев, С.В. Клюев // Образование, наука, производство и управление в XXI веке: сб. докл. Междунар. науч. конф. – Старый Оскол, 2004. – Т. 4.– С. 238-240.
3. Васильков, Г.В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма [Текст] / Г.В. Васильков. – Ростов-на-Дону: Инфосервис, 2003.
4. Городецкий, А.С. Информационные технологии расчёта и проектирования строительных конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарёв. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
5. Шмуклер, В.С. Рационализация параметров неодносвязной балки-стенки [Текст] / В.С. Шмуклер, Ф. Какшар, И. Вассим // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХО АСУ, 2004. – С. 202-213.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Э.С. Геворкян

Пустовойтова Оксана Михайлівна, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057)-730-10-67.

Набока Сергій Юрійович, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057)-730-10-67.

Камчатна Світлана Миколаївна, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-67.

Лоцман Клеоніка Павлівна, студентка 4 курсу будівельного факультету Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-67.

Pustovoytova Oksana Myhaylovna , associate professor of the department stroitel designs Kharkiv National University horodskoho economy A.N.Beketova. Tel. (057) -730-10-67.

Sergey Nabokov Yurevich , aspyrant the department stroitel designs Kharkiv National University horodskoho economy A.N.Beketova. Tel. (057) -730-10-67.

Svetlana Nikolaevna Kamchatnyy , associate professor of the department and path putevoho economy Ukrainskaia Academy railroad transport. Tel. (057) -730-10-67.

Pilot Kleonikos Pavlovna , 4th year student of the faculty stroytelnoho Ukrainskaia Academy railroad transport. Tel. (057) -730-10-67.