

УДК 69(04+07)

А. Н. ОРЖЕХОВСКИЙ, А. В. МУЩАНОВ, А. А. ШТУРМИНА, В. А. ШТУРМИНА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СТРУКТУРНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ТРУБ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ

Аннотация. В работе приведены результаты оптимизационного расчета двух вариантов типовой конструкции структурного покрытия с размерами в плане 21×30 метров, состоящей из пентаэдров. Рассматривалось два варианта реализации: с ячейкой 1,5 и 3 метра. Оба варианта шарнирно оперты на жесткий контур. В качестве нагрузки рассматривается собственный вес конструкции и снег. Нагрузка приведена к узловой с использованием метода площадей. В качестве оптимизационных параметров выступали высота конструкции и стрела подъема. Поиск оптимального решения производится по методу деформируемого многогранника Нелдера-Мида. Целевой функцией поиска выступает масса конструкции. Оптимизационный расчет выполняется в авторском программном комплексе, который реализован на языке программирования MATLAB. Особенностью программного комплекса является способность обмениваться данными с системой автоматического проектирования ЛИРА-САПР по средствам выходного текстового файла.

Ключевые слова: структурные конструкции, оптимизация, стрела подъема, масса.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современном строительстве все большее применение получают металлические конструкции. Они имеют ряд неоспоримых преимуществ: технологичность, скорость изготовления и монтажа, легкость, универсальность, а также ряд других. При всех этих положительных факторах сталь в большинстве случаев проигрывает остальным материалам несущих конструкций в себестоимости. Решением проблемы экономичности может стать оптимизация системы. В последнее время в конструкциях покрытий общественно-массовых, зрелищных, спортивных зданий и сооружений, благодаря своей архитектурной выразительности, получили применение структурные конструкции. Разработка методик оптимизаций этих конструкций является перспективным и востребованным направлением.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

К сожалению, современные исследования в области оптимизации уделяют структурным конструкциям покрытий незаслуженно мало внимания. В большей мере рассматриваются плоские или пространственные фермы [1, 5]. Если же объектом исследования становится структурное покрытие [2, 3, 6], то ограничиваются оптимальным подбором сечения стержневых элементов, варьируя жесткостями элементов. В некоторых случаях рассматривают высоту покрытия как параметр оптимизации. Но применение одновременно высоты и стрелы подъема структурной конструкции как параметров оптимизации еще не использовалось.

ЦЕЛИ

Целью данной работы является апробация предложенной методики оптимизации типового решения структурного покрытия на жестком плане по двум параметрам: высота конструкции и стрела подъема. Целевой функцией оптимизации выступает масса конструкции.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Совершенствование компьютерных технологий дало мощный толчок к развитию оптимального проектирования конструкций благодаря возможности алгоритмизации и реализации алгоритма в программном коде. Существует значительное множество различных программ, разработанных в рамках научных исследований, но они представляют крайне малую ценность для инженера. Это объясняется отсутствием удобного и интуитивно понятного интерфейса. Современные системы автоматического проектирования (ЛИРА, ЛИРА-САПР, SCAD) имеют такой интерфейс, но оптимизационные расчеты им недоступны. Следовательно, создание программного комплекса способного быстро и корректно принимать данные, а также оптимизировать структурную конструкцию является перспективной актуальной задачей.

Авторами был создан программный комплекс, удовлетворяющий всем выше обозначенным требованиям. В качестве параметров оптимизации рассматривались высота структурного покрытия и стрела подъема конструкции. Методика проведения процесса оптимизации приводится в источнике [4]. Программный комплекс реализован на языке программирования MATLAB. При этом для удобства создания расчетной схемы конструкции используется ЛИРА-САПР. Что позволяет не только использовать привычный инженеру интерфейс для задания исходных данных, но и проводить проверочный расчет усилий в сторонней программе. Обмен данными между двумя программными продуктами осуществляется через текстовый файл. В качестве конструктивного решения структурного покрытия рассматривается система MERO. Следовательно, для подбора сечений стержневых элементов используется соответствующий сортамент круглых труб. При расчете конструкции собственная масса учитывается в виде внешней нагрузки и прикладывается программой автоматически.

В качестве численного эксперимента были оптимизированы два типовых варианта структурного покрытия с размерами в плане 21x30 метров, состоящих из пентаэдров. Размеры ячеек составили 1,5 и 3 метра. Оптимизация проводилась по двум параметрам – высоте и стреле подъема, а в дальнейшем по одному – только высоте конструкции. Полученные конструкции представлены на рисунках 1 и 2. Результаты расчетов сведены в таблицу.

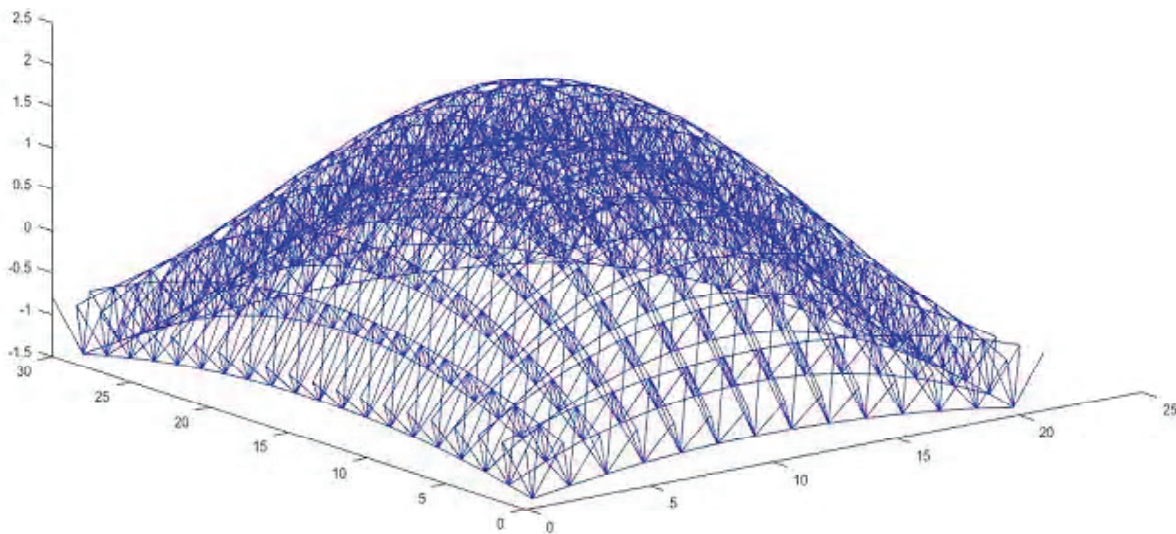


Рисунок 1 – Результаты оптимизации структурных покрытий по высоте конструкции и стреле подъема при ячейке 1,5 м.

Анализируя данные, приведенные в таблице, очевидно, что конструкция с ячейкой 3 м более выгодна с учетом экономии материала. Следует отметить, что оптимизация по двум параметрам хоть и дает больший процент экономии стали, но технически сложнее при производстве и монтаже. В этом случае фактически происходит переход от типовой конструкции к индивидуальному проекту или даже уникальному решению.

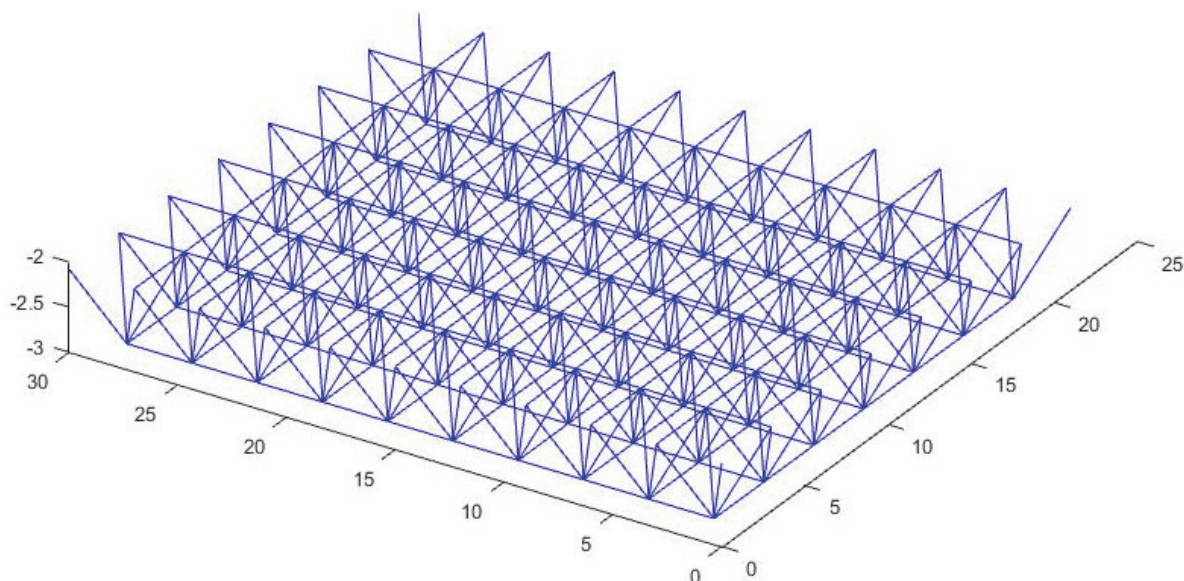


Рисунок 2 – Результаты оптимизации структурных покрытий по высоте конструкции и стреле подъема при ячейке 3 м.

Таблица – Результаты оптимизации структурного покрытия на прямоугольном плане

Размеры структуры	Кол-во точек целевой поверхности (кривой)	Стрела 4 (м), высота 4–0,7 (м)			Исходная масса (т)	Высота 0,7–4 (м)		% отклонения	
		Масса (т)	Z стрела (м)	H высота (м)		Масса (т)	H высота (м)	2 параметра	1 параметра
21×30×1,5 (м)	8 точек	14,484	2,857	0,7	16,449			11,95	
	4 точки	14,486	3	0,7		15,169	0,865	11,93	7,78
21×30×3 (м)	8 точек	5,891	0	0,7	7,025			16,14	
	4 точки	5,891	0	0,7		5,813	0,92	16,14	17,25

ВЫВОДЫ

1. При применении предложенной методики оптимизации удалось добиться снижения массы в пределах 12...16 %.
2. Увеличение количества точек поверхности или кривой целевой функции в некоторых случаях может увеличить вероятность отыскания наиболее оптимальных параметров конструкции.
3. Вариант с ячейкой в 3 м более экономичен, но при этом степень его надежности на порядок ниже варианта с ячейкой в 1,5 м.
4. В случае с ячейкой в 3 м оптимизация по одному параметру может давать более оптимальные результаты, так как расстояние между точками целевой кривой меньше, чем между точками целевой поверхности при одинаковом их количестве. Что позволяет более точно выбрать базисные точки для дальнейшего процесса оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марутян, А. С. Трехгранные фермы покрытий (перекрытий) и оптимизация их высот [Текст] / А. С. Марутян, В. Н. Орбинская // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – Вып. 2(101). – С. 172–183.
2. Регулирование напряженно-деформированного состояния структурного покрытия способом изменения геометрической схемы сооружения [Электронный ресурс] / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, В. А. Думбай [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 1. – Режим доступа : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3982.
3. Колодежнов, С. Н. Анализ висячих конструктивных систем подкрепления навеса в виде структурной плиты [Текст] / С. Н. Колодежнов, А. Н. Селиванова // Строительная механика и конструкции. – 2017. – № 14. – С. 61–71.
4. Муцанов, В. Ф. Оптимальное проектирование структурных покрытий на нетиповых планах [Текст] / В. Ф. Муцанов, А. Н. Оржеховский, А. В. Муцанов // Международная научно-практическая конференция, посвященная

- 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации» : сб. докладов (9–10 октября 2019 г., Белгород). – Белгород, 2019. – С. 75–79.
5. EN 1990:2002+A1. Eurocode. Basis of structural design [Текст]. – Supersedes ENV 1991-1:1994 ; This European Standard was approved by CEN on 29 November 2001. – Brussels : Management Centre, 2002. – 116 p. – (European Standard).
6. Michael, Havbro Faber. Statistics and Probability Theory [Текст] / М. Н. Faber. – Swiss Federal Institute of Technology ETH. – Zürich, Switzerland : [s. n.], 2012. – 207 p.

Получена 13.04.2020

А. М. ОРЖЕХОВСЬКИЙ, О. В. МУЦАНОВ, А. О. ШТУРМИНА,
В. О. ШТУРМИНА
ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ СТРУКТУРНОГО ПОКРИТТЯ З ТРУБ НА
ПРЯМОКУТНОМУ ПЛАНІ
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У роботі наведені результати оптимізаційного розрахунку двох варіантів типової конструкції структурного покриття з розмірами в плані 21×30 метрів, що складається з пентаєдрів. Розглядалося два варіанти реалізації з коміркою 1,5 та 3 метри. Обидва варіанти шарнірно оперті на жорсткий контур. Як навантаження розглядається власна вага конструкції і сніг. Навантаження приведені до вузлового з використанням методу площ. Оптимізаційними параметрами виступали висота конструкції і стріла підйому. Пошук оптимального рішення проводився за методом деформованого багатогранника Нелдера-Міда. Цільовою функцією пошуку виступала маса конструкції. Цільовою функцією пошуку виступає маса конструкції. Оптимізаційний розрахунок виконується в авторському програмному комплексі, який реалізований на мові програмування MATLAB. Особливістю програмного комплексу є здатність обмінюватися даними з системою автоматичного проектування LIRA-САПР за рахунок вихідного текстового файлу.

Ключові слова: структурні конструкції, оптимізація, стріла підйому, маса.

ANATOLY ORZHEKHOVSKY, ALEXANDER MUSHCHANOV, ANASTASIIA
SHTURMINA, VALERIA SHTURMINA
OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF THE STRUCTURAL COATING OF PIPES
ON A RECTANGULAR PLAN
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper presents the results of an optimization calculation of two variants of a typical design of a structural coating with dimensions in the plan of 21×30 meters, consisting of pentahedra. Two implementation options were considered: with a cell of 1.5 and 3 meters. Both options are pivotally supported on a rigid contour. The load is considered to be the dead weight of the structure and snow. The load is reduced to nodal using the area method. The optimization parameters were the height of the structure and the lifting boom. The search for the optimal solution is carried out by the method of deformable Nelder-Mead polyhedron. The target function of the search is the mass of the structure. Optimization calculation is performed in the author's software package, which is implemented in the programming language MATLAB. A feature of the software complex is the ability to exchange data with the LIRA-CAD automatic design system by means of the output text file.

Key words: structural structures, optimization, boom, mass.

Оржеховский Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование действительной работы и показателей надежности стержневых систем в строительстве, численные методы расчета пространственных стержневых конструкций.

Муцанов Александр Владимирович – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование устойчивости центрально-сжатых элементов.

Штурмина Анастасия Александровна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оптимальные решения металлических конструкций

Штурмина Валерия Александровна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность металлоконструкций

Оржеховський Анатолій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і показників надійності стрижневих систем в будівництві, чисельні методи розрахунку просторових стержневих конструкцій.

Мушчанов Олександр Володимирович – асистент кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження стійкості центрально-стиснутих елементів.

Штурміна Анастасія Олександрівна – магистрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оптимальні рішення металевих конструкцій

Штурміна Валерія Олександрівна – магистрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність металоконструкцій

Orzhekhovsky Anatoly – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the study of real work and reliability indicators of pivotal systems in construction, numerical methods for calculating spatial pivotal structures.

Mushchanov Alexander – assistant, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the study of the stability of centrally compressed elements.

Shturmina Anastasiia – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: optimal solutions for metal structures

Shturmina Valeria – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability of metal structures.