

УДК 69.024.4

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/22>

СПЕЦИФИЧЕСКОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМОЙ

©*Маруфий А. Т.*, ORCID: 0000-0003-4138-8892, SPIN-код: 5546-6120, д-р техн. наук, Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, oshtu-marufi@rambler.ru

©*Рысбекова Э. С.*, ORCID: 0000-0002-1894-577X, SPIN-код: 5443-7863, канд. техн. наук, Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, e.rysbekova@mail.ru

SPECIFIC DESIGN SOLUTION FOR COVERING LARGE AREAS WITH SPATIAL METAL TRUSS

©*Marufiy A.*, ORCID: 0000-0003-4138-8892, SPIN-code: 5546-6120, Dr. habil., Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, oshtu-marufi@rambler.ru

©*Rysbekova E.*, ORCID: 0000-0002-1894-577X, SPIN-code: 5443-7863, Ph.D., Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, e.rysbekova@mail.ru

Аннотация. Актуальность приведенных в статье результатов исследования заключается в необходимости применения новых конструктивных решений покрытий больших пространств. Целью работы является поиск новых конструктивных решений для покрытия больших площадей пространственными металлическими фермами. Были решены задачи формирования расчетной пространственной стержневой конечно-элементной модели стальной пространственной фермы куполовидной формы радиально-кольцевой конструкции. Произведен расчет пространственной системы с применением метода конечных элементов, актуальных компьютерных программ, приняты новые конструктивные решения пространственных металлических ферм. Определены напряженно-деформированные состояния модели от заданной нагрузки. Произведен подбор сечения для конструктивных элементов стальной пространственной фермы куполовидной формы радиально-кольцевой конструкции. Результаты исследования могут быть использованы в формировании архитектурных и конструктивных решений зданий с применением нового структурного расположения элементов пространственной фермы.

Abstract. The relevance of the research results given in the article lies in the need to apply new constructive solutions for large spaces. The purpose of this work is to search for new design solutions for covering large areas with spatial metal trusses. The problems of forming a computational spatial bar finite element model of a steel spatial truss of a dome-shaped radial-ring structure were solved. The calculation of the spatial system was carried out using the finite element method of current computer programs, new constructive solutions for spatial metal trusses were adopted. The stress-strain states of the model from a given load have been determined. The calculation of the spatial system was carried out using the finite element method of current computer programs, new constructive solutions for spatial metal trusses were adopted. The research results can be used in the formation of architectural and structural solutions of a building using a new structural arrangement of the elements of a spatial truss.

Ключевые слова: пространственная металлическая ферма, покрытия, радиально-кольцевая конструкция, метод конечных элементов, большие площади, стержневой конечный элемент.

Keywords: spatial metal truss, coatings, radial-ring structure, finite element method, large areas, rod finite element.

Введение

В современном мире все большей популярностью у архитекторов и строителей пользуются пространственные металлические конструкции [1, с. 6; 2, с. 101]. Этот спрос обоснован их практичностью и экономичностью, а также способностью перекрывать большие пространства. Их применяют для создания таких конструктивных решений общественных зданий, которые способны воплотить в жизнь самые смелые идеи специалистов. Стремление покрыть как можно большие площади при этом, добившись максимально оптимального веса и формы данных конструкций без использования промежуточных опор, приводит к созданию специалистами новейших материалов и поиску новых конструктивных решений. Здания, выполненные с использованием пространственных конструкций, обладают особой архитектурной выразительностью. Данные системы строятся на принципе единого целого: все составные элементы объединены между собой и работают совместно. Этот принцип позволяет снизить расход материала и вес самого покрытия, таким образом, сделав объект экономически более выгодным.

Целью исследования является поиск новых конструктивных решений пространственной фермы для покрытия больших площадей и достижение оптимального веса и формы конструкций без использования промежуточных опор, с применением актуальных компьютерных программ, основанных на методе конечных элементов [3, с. 25; 4, с. 38; 5, с. 12], для исследования и расчетов, оптимизации конструкций пространственной фермы. С помощью актуальных компьютерных программ можно максимально точно высчитывать конструкции пространственной металлической фермы.

Методы исследования

В настоящее время при проектировании строительных конструкций значительная часть расчетов выполняется с помощью специальных программно-вычислительных комплексов (ПВК). Применяемые в инженерной практике проектирования строительных конструкций ПВК отличаются друг от друга методическими и сервисными разработками, но все они включают в себя статические и динамические расчеты конструкций и отдельных их частей, выполняемые методами строительной механики. Алгоритмы численных расчетов в этих программах в основном строятся на методе конечных элементов (МКЭ), реализуемом в форме метода перемещений. В расчетной и проектной практике используются в основном три ПВК, основанных на МКЭ: Лира-САПР (Украина), Лира-Софт (Россия) и SCAD (Украина). Наиболее доступным для изучения считается Structure construction automatic design (SCAD). Проектно-вычислительный комплекс Structure CAD реализован как интегрированная система прочностного анализа и проектирования конструкций на основе МКЭ и позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкций от статических и динамических воздействий, а также выполнить ряд функций проектирования элементов конструкций.

В основу комплекса положена система функциональных модулей, связанная между собой единой информационной средой. Эта среда называется проектом и содержит полную информацию о расчетной схеме. Расчетная схема (РС) — это идеализированное описание конструкции в виде узлов, линий, связей, назначений жесткостей, нагрузок.

С появлением ЭВМ и средств программирования МКЭ получил мощный импульс к развитию, что привело к появлению универсальных программных комплексов для расчета любых строительных конструкций. При этом современные системы позволяют не только определять перемещения и усилия в конструкциях, но и выполнять динамические расчеты, составлять расчетные сочетания усилий и перемещений, выполнять конструктивные расчеты для железобетонных и металлических конструкций.

Результаты и обсуждение исследования.

Расчет выполнен на примере здания мечети (Рисунок 1), на программе SCAD 21.1 с использованием трехмерной (пространственной) расчетной модели фермы. Исследование рассматривает только центральный корпус здания, отделенного от пристроек деформационными швами. Декоративные элементы из легких конструкций (обшивка, небольшие купола) в расчете учтены в виде дополнительных нагрузок на несущие элементы.



Рисунок 1. Общий вид здания мечети

Исследование и расчет [6, 7, 8, 9] стальной пространственной фермы куполовидной формы радиально-кольцевой конструкции диаметром 34,2 м из прямоугольных профильных труб по ГОСТ 54157-2010. В центре покрытия расположен купол, диаметром 12 м, опирающийся на жесткое стальное кольцо радиальных ферм.

Задачи расчета пространственной фермы:

- Формирование расчетной пространственной стержневой конечно-элементной модели.
- Определение напряженно-деформированного состояния модели от заданной нагрузки.
- Подбор сечения для конструктивных элементов.

Геометрическая схема и основные размеры для расчета фермы представлены на Рисунке 2.

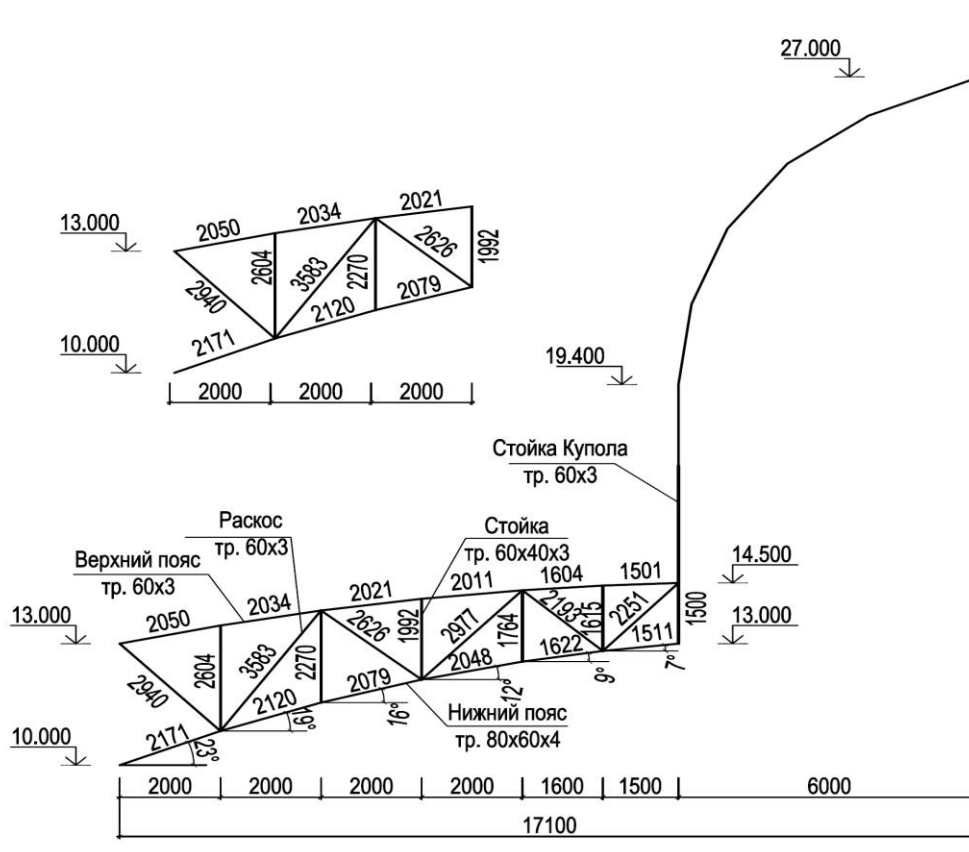


Рисунок 2. Конструктивная схема пространственной фермы

Создание модели для расчета стальной пространственной фермы производится с помощью стержневых конечных элементов в ПК SCAD (Рисунки 3–7)

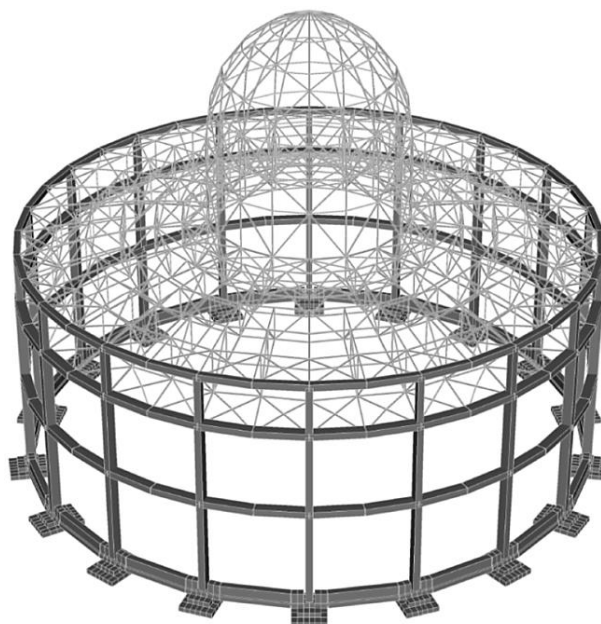


Рисунок 3. Расчетная схема здания

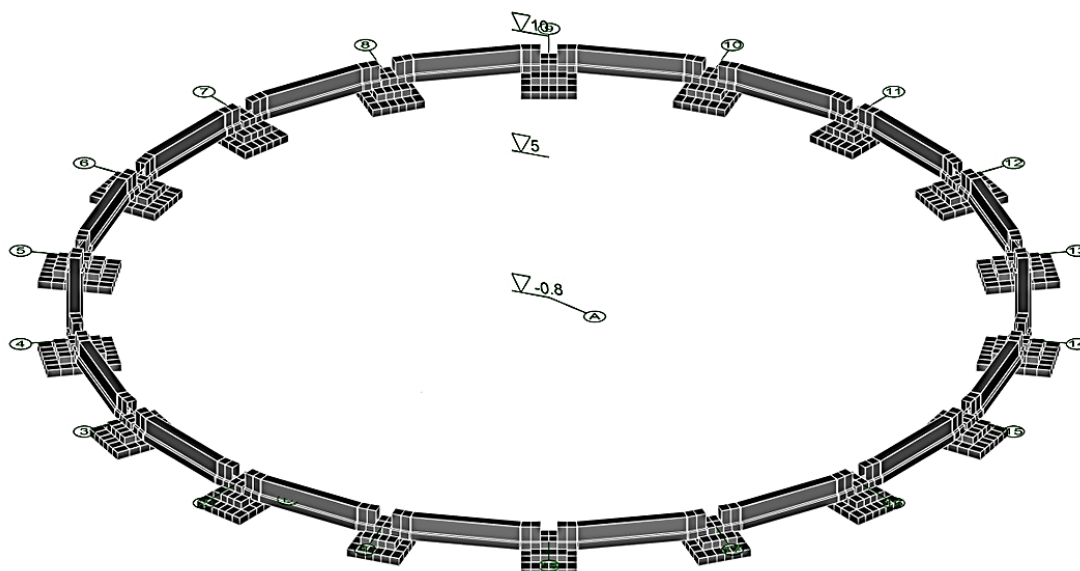


Рисунок 4. Расчетная схема фундамента

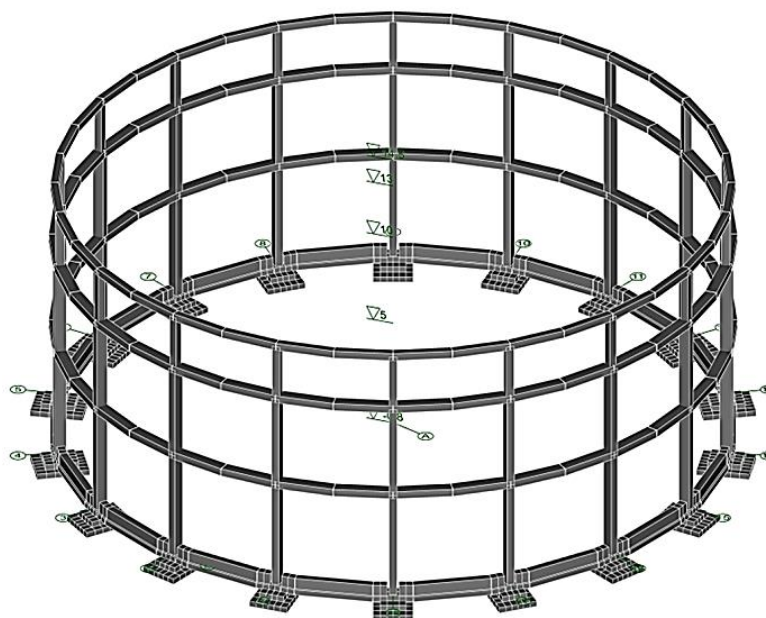


Рисунок 5. Расчетная схема железобетонного каркаса

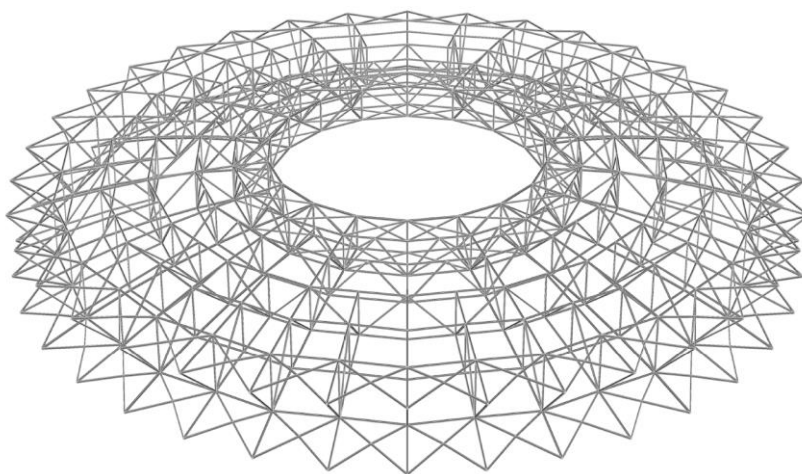


Рисунок 6. Расчетная схема куполовидной радиальной фермы

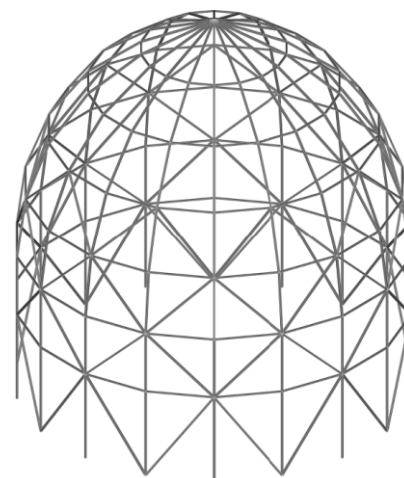


Рисунок 7. Расчетная схема купола

Далее необходимо присвоить жесткостные характеристики всем элементам (Рисунок 8).

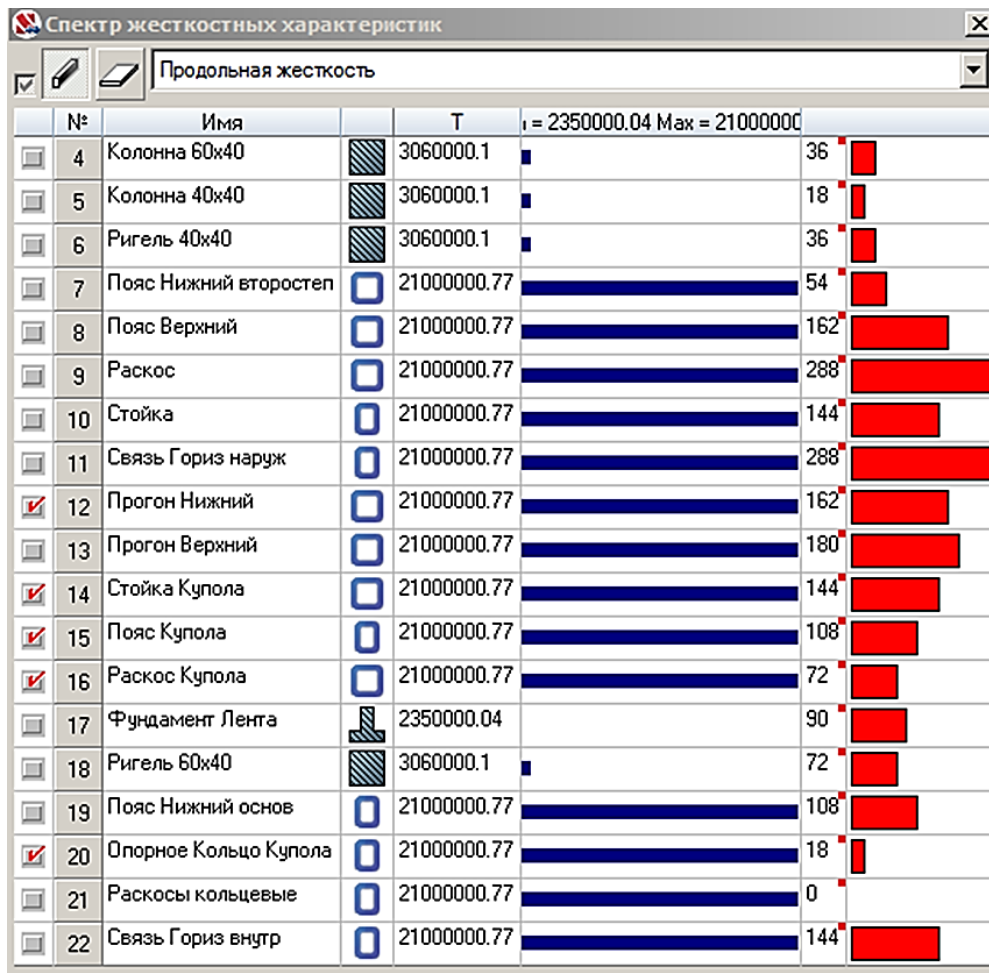


Рисунок 8. Жесткостные характеристики конечных элементов расчетной схемы

Далее задаем нагрузки в ПК SCAD. В примере расчета стальной пространственной фермы в ПК SCAD приложим линейно-равномерно распределенную нагрузку. Загрузку необходимо упаковать в РСУ (расчетное сочетание усилий) с соответствующими коэффициентами (Таблица 1).

Таблица 1.

ЗАГРУЗКА

№	Загружения	Тип загрузки	Вид нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке	Доля длительности
1	Соб вес ЖБ	Постоянные нагрузки	Вес бетонны	1.1	1
2	Соб вес Мет	Постоянные нагрузки	Вес металл	1.05	1
3	Стена	Постоянные нагрузки	Вес бетонны	1.1	1
4	Кровля	Постоянные нагрузки	Вес бетонны	1.3	1
5	Снег	Кратковременные на	Полные сне	1.4	0.3
6	Сейсмика X	Особая нагрузка	Сейсмическ	1	0
7	Сейсмика Y	Особая нагрузка	Сейсмическ	1	0
8	Сейсмика Z	Особая нагрузка	Сейсмическ	1	0

Собственный вес конструкций каркаса. Собственный вес монолитных железобетонных и стальных конструкций вычислен программно по геометрическим размерам и плотности материала и учитывается автоматически в загрузении 1.

Временные нагрузки. В расчете учтена снеговая кратковременная нагрузка. Временные (полезные) нагрузки не участвуют в расчетной схеме, так как здание одноэтажное и эксплуатационные нагрузки приходятся на грунт через стяжку пола.

Сейсмическая нагрузка. Согласно техническому заданию площадка строительства относится к зоне с сейсмичностью 9 баллов. Сбор сейсмической массы и загрузка на соответствующие участки, т. е. приложения выполняется программно. Все коэффициенты для вычисления усилий и напряжений от сейсмического воздействия приняты согласно СНиП КР 20-02:2009 [10].

Расчет фермы в среде SCAD Office [6] начинается с того, что в первом приближении задают предварительные сечения элементов конструкции. После определения расчетных усилий выполняется проверка и подбор сечений. Если результаты проверки не удовлетворительны, необходимо заменить сечения и пересчитать задачу с последующей проверкой сечений. В некоторых случаях может понадобиться несколько таких итераций, чтобы добиться приемлемого результата. Результатом исследования и расчета стальных конструкций в ПК SCAD является коэффициент использования сечения. Критический фактор коэффициента максимального использования основных несущих конструкций пространственной фермы показан на Рисунке 9.

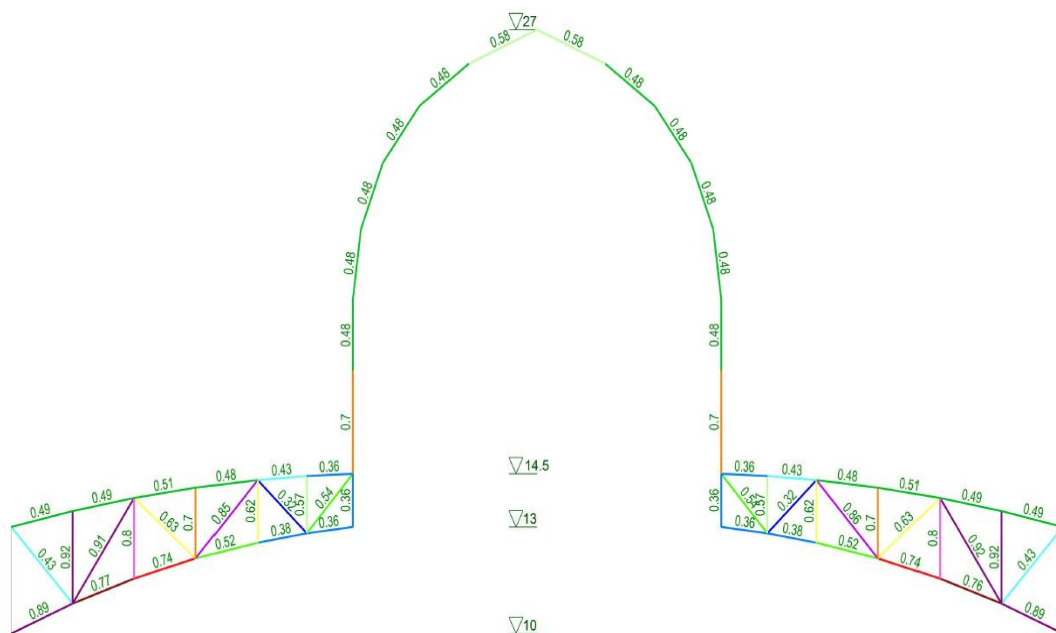


Рисунок 9. Коэффициент использования сечения основных несущих конструкций

В нижнем поясе радиально-кольцевой конструкции коэффициент использования сечения 0,36–0,89, в верхнем поясе 0,36–0,49, в раскосах 0,32–0,91, в стойках 0,57–0,92. В куполе 0,45–0,7. Принятые сечения основных конструкций здания приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Принятые сечения основных конструкций здания

Наименование	Материалы	Сечение, мм.
Основные колонны	ЖБ класс В25	400х600
Парапетная колонна	ЖБ класс В25	400х400
Ригель (обвязочный пояс)	ЖБ класс В25	600х400
Нижний пояс фермы	Сталь	80х60х4
Верхний пояс фермы	Сталь	60х3
Раскос	Сталь	60х3
Стойка	Сталь	60х40х3
Опорное кольцо купола	Сталь	60х80х4
Стойка купола	Сталь	60х3
Пояс купола	Сталь	60х40х3
Раскос купола	Сталь	60х3

В результате исследования пространственной металлической фермы сделаны следующие *выводы*:

1. Стремление покрыть как можно большие площади, при этом, добившись максимально оптимального веса и формы данных конструкций без использования промежуточных опор, привело к поиску новых конструктивных решений пространственных ферм.

2. Были решены задачи формирования расчетной пространственной стержневой конечно-элементной модели стальной пространственной фермы куполовидной формы радиально-кольцевой конструкции.

3. Определены напряженно-деформированные состояния модели от заданной нагрузки. Произведен подбор сечения для конструктивных элементов стальной пространственной фермы куполовидной формы радиально-кольцевой конструкции.

Список литературы:

1. Доркин В. В., Рябцева М. П. Металлические конструкции. М.: Инфра-М, 2018. 576 с.
2. Еремеев П. Г. Справочник по проектированию современных металлических конструкций большепролетных покрытий. М.: Издательство АСВ, 2017. 256 с.
3. Галлагер Р. Метод конечных элементов // Основы. М., 1984. 428 с.
4. Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С Методы анализа результатов расчетов строительных конструкций с применением метода конечных элементов, нормативных форм и процедур // Известия ОшТУ. 2010. №1. С. 37-42.
5. Рысбекова Э. С. Программный комплекс по подготовке исходных данных для расчета строительных конструкций с применением метода конечных элементов, нормативных форм и процедур // Научная дискуссия: вопросы технических наук: Материалы XLII международной научно-практической конференции. М.: Интернаука, 2016. №1 (31). С. 11–20.
6. Карпиловский В. С., Крискунов Э. З., Маляренко А. А. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во АСВ, 2004. 592 с.
7. Нагрузки и воздействия СНиП 2.01.07-85*. Введ. 1987-01-01. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. 61 с.
8. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету: ГОСТ 27751-88. Введ. 1988–01–07. М.: Стандартиформ, 2007. 7 с.

9. СНиП II-23-81* Стальные конструкции. М: Госстрой СССР, 1990. 125 с.
10. Сейсмостойкое строительство. СНиП КР 20-02:2009. Введ. 2009-01-01. Бишкек, 2009. 103 с.

References:

1. Dorkin, V. V., & Ryabtseva, M. P. (2018). Metallicheskie konstruksii. Moscow. (in Russian).
2. Eremeev, P. G. (2017). Spravochnik po proektirovaniyu sovremennykh metallicheskiikh konstruksii bol'sheproletnykh pokrytii. Moscow. (in Russian).
3. Gallager, R. (1984). Metod konechnykh elementov. In *Osnovy*, Moscow. (in Russian).
4. Marufii, A. T., & Rysbekova, E. S. (2010). Metody analiza rezul'tatov raschetov stroitel'nykh konstruksii s primeneniem metoda konechnykh elementov, normativnykh form i protsedur. *Izvestiya OshTU*, (1), 37-42. (in Russian).
5. Rysbekova, E. S. (2016). Programmnyi kompleks po podgotovke iskhodnykh dannykh dlya rascheta stroitel'nykh konstruksii s primeneniem metoda konechnykh elementov, normativnykh form i protsedur. In *Nauchnaya diskussiya: voprosy tekhnicheskikh nauk: Materialy XLII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, (1(31)), 11–20. (in Russian).
6. Karpilovskii, V. S., Kriskunov, E. Z., & Malyarenko, A. A. (2004). Vychislitel'nyi kompleks SCAD. Moscow. (in Russian).
7. Nagruzki i vozdeistviya SNiP 2.01.07-85* (1987). Vved. 1987-01-01. Moscow. (in Russian).
8. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksii i osnovanii (2007). Osnovnye polozheniya po raschetu: GOST 27751-88. Vved. 1988–01–07. Moscow. (in Russian).
9. SNiP II-23-81* Stal'nye konstruksii (1990). Moscow. (in Russian).
10. Seismostoikoe stroitel'stvo (2009). SNiP KR 20-02:2009. Vved. 2009-01-01. Bishkek.

*Работа поступила
в редакцию 04.11.2021 г.*

*Принята к публикации
11.11.2021 г.*

Ссылка для цитирования:

Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С. Специфическое конструктивное решение для покрытия больших площадей пространственной металлической фермой // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №12. С. 160-168. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/22>

Cite as (APA):

Marufiy, A., & Rysbekova, E. (2021). Specific Design Solution for Covering Large Areas With Spatial Metal Truss. *Bulletin of Science and Practice*, 7(12), 160-168. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/22>