

# Вариантное проектирование покрытия стадиона "ФИШТ" в городе Сочи

Шишкова М.Н, Гращенкова Э.А, Кошкин А.К

*ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»*

**Аннотация:** Объект статьи - навес крыши стадиона «Фишт», место проведения церемонии открытия летних Олимпийских игр 2014 года. В исследовании были предложены несколько видов устройства навеса: навес из двухскатных ферм, существовавших в 2012-2015 годах, навес с линзовыми фермами, переменными высотами, навес с перекрестными фермами, навес с структурными плитами. Проведен анализ напряженного и деформированного состояния различных вариантов навесного устройства с использованием SCADOffice ПК; были затронуты проблемы оптимизации параметров геометрии предлагаемых новых вариантов, а также сравнительный анализ принятых решения. Утверждено, что наиболее эффективным является применение конструкций с переменной высотой.

**Ключевые слова:**

большепролетное покрытие; плоские фермы; структурное покрытие; перекрестные фермы; линзообразные фермы; рациональная высота; сравнительный анализ.

Спортивные конструкции очень важны для архитектурного облика города и часто оказывают прямое влияние на популярность и количество посещаемости соревнований по индивидуальному и игровому спорту, включая национальные и межрегиональные первенства по индивидуальному и игровому спорту. Таким образом, большое внимание уделяется проектированию, строительству уникальных спорткомплексов. В процессе изготовления уникальных объектов задействовано большое количество материала и труда, поэтому каждый раз проектировщики остро задают вопрос оптимизации конструкции и конкретных решений, сохраняя привлекательность архитектурного облика объекта. Также важно обеспечивать комфортные условия проведения конкурсов и посетить стадионы болельщикам [1-3].

Влияние данного параметра на климатические условия заставляют проектировщиков по всему миру все больше обратить внимание на необходимость создания крытого всесезонного спортивного сооружения. Возможность проведения круглогодичных конкурсов в таких объектах приводит к вырубке самого объекта из-за большой загрузки объекта в год [5-7].

Поскольку конструирование объектов подобного рода - сложная комплексная задача с необходимостью варьировать большое количество парамет-

ров, постоянные перерасчеты, как отдельные фрагменты расчетной схемы, проектирование таких объектов - сложная комплексная задача. Для расчета применяются различные программы, основанные на методе конечного элемента МКЭ. Главные плюсы метода – проработанность теоретической базой и сравнительно легкость его реализации в программах. В трудах изложены наиболее полные возможности его реализации в САПР [4].

В вопросах изучения сооружений столь масштабного и сложного масштаба необходимо максимально полностью изучить мировые и российские опыты разработки уникальных спортивных объектов.

В больших спортивных соревнованиях проводятся довольно часто, так что их множество. Работа по покрытию стадионов, включая построенные целенаправленно, чтобы провести футбольные соревнования, например.

При расчёте уникальных объектов необходимо решать задачи, которые относятся к задачам, актуальным для массовых строительства: учет реальной пространственной деятельности конструкций, ведение нелинейного расчета, уточнение динамического расчета, в том числе прямой интегрирования уравнений подвижности, учет ритма возведения их и др [10-29].

Цель этой работы - разработать и исследовать несколько вариантов навесного устройства покрытие стадиона «Фишт».

Из поставленных целей следует следующее:

1. Создать модель навеса на пол и пространственную металлическую конструкцию покрытия.

В целом стадион Фишт среди SCAD на каждом предложенном варианте;

2. Провести анализ напряженно-деформированного состояния несущих элементов.

3. Осуществить сравнение исследуемых вариантов.

В конструктивном плане Центральный стадион состоит из 6 этажного корпуса, где расположены трибуны и трибуны.

Подтрибунными. Проектируемые трибуны , запроектированные в помещениях с железобетонным каркасом, металлическим большепролетным покрытием на трибунах и полях. ГУП одобрила проект стадиона «Спартак» МНИИП «Московский проект-4» и ОАО «ГК ТЕХСТРОЙ».

Исходные варианты установки навеса не соответствуют архитектурному облику стадиона, и поэтому плохо подходят к архитектурному облику стадиона. В ходе работы рассмотрены варианты альтернативного перекрытия площади над полом. Существует множество способов перекрытия 90-метрового пролета: балочная покрытие; рамная система; арки; пространственные и структурные оболочки; висящие системы; перекрытия. В этой работе предлагаются 3 новые конструктивные решения для навесов [9].

### **1 вариант - навес из перекрестных ферм.**

1. Несущие элементы. В качестве конструкции покрытия между двумя главными арками была выбрана система перекрестных ферм, пересекающихся в плане под углом  $90^\circ$ , и составляющих сетку из квадратных ячеек.

2. Пространственная жесткость. Пространственная жесткость такой системы обеспечивается введением связевых блоков и продольных распорок.

3. Построение модели и расчет.

4. Вариантный анализ. Вариантный анализ заключается в нахождении оптимальных геометрических и физических

параметров путем минимизирования целевой функции. Математическое представление задачи проектирования записывается в форме [37]:

$$P = \min \{F(x), F(x_2), F(x_3), \dots, F(x_n)\}$$

где

F - некая целевая функция,

x - оптимизируемый параметр.

В качестве оптимизируемого параметра рассмотрена высота ферм навеса при неизменной форме и координатах верхнего пояса. В качестве целевых функций рассмотрены итоговый вес навеса и значение максимальных деформаций в ферме максимального пролета. Выбор оптимальной высоты конструкции покрытия. Для анализа поставленной задачи было создано 10 моделей несущих конструкций покрытия, отличающихся высотой с шагом 1 м. Исследуемый диапазон высот: 5-14 м. На основе полученных данных были выведены зависимости целевых функций от высоты.

### **2 вариант - навес из структурных плит.**

1. Несущие элементы. Большепролетное покрытие над полем представляет собой структурную плиту - пространственную стержневую конструкцию, шарнирно опирающуюся на основные арки покрытия. Верхний и нижний пояса структурной плиты представляют собой систему квадратных ячеек,

сложенных продольными и поперечными стержнями. Шаг продольных стержней верхнего пояса составляет 6,45 м. Шаг поперечных стержней верхнего пояса - 7 м. Шаг продольных стержней нижнего пояса составляет 6,37 м, шаг поперечных стержней — 7 м. Высота структуры составляет 7 м. Пояса плиты соединены между собой системой раскосов. Структурная плита опирается на арки с помощью опорных раскосов различной длины, исходящих, как от нижнего пояса, так и от верхнего. Опорные раскосы структурной плиты опираются в узлах верхнего пояса арки и в середине профилей верхнего пояса арки.

2. Пространственная жесткость. Общая устойчивость сооружения обеспечивается пространственной работой структурного покрытия.

3. Построение модели и расчет.

4. Вариантный анализ. Выбор оптимальной высоты конструкции покрытия

Для анализа поставленной задачи было создано 10 моделей несущих конструкций покрытия, отличающихся высотой с шагом 1 м. Исследуемый диапазон высот: 4 -14 м. На основе полученных данных были выведены зависимости целевых функций от высоты.

### **3 вариант - навес арочных линзообразных ферм.**

1. Несущие элементы. В качестве несущего элемента применены арочные фермы линзообразного очертания, изменяющиеся по высоте в зависимости от пролета.

2. Пространственная жесткость. Пространственная жесткость обеспечивается введением связевых блоков.

3. Построение модели и расчет. Для создания модели интегрированной расчетной схемы навеса над полем и покрытия над трибунами.

4. Вариантный анализ. Выбор оптимальной высоты конструкции покрытия

Для анализа поставленной задачи было создано 10 моделей несущих конструкций отличающихся высотой с шагом 1 м. Каждая ферма имеет разную высоту в зависимости от пролета. Анализ был проведен для фермы Ф14 пролетом 89 м. В результате было получено оптимальное соотношение горизонтали для верхнего и нижнего поясов. За первоначальный вариант принимается такое положение нижнего пояса, при котором эти отклонения равны ( $h = 9,4$  м) [4].

**Выводы:** наименьшей металлоемкостью обладает покрытие из комбинированных ферм за счет малого количества элементов и линзообразной формы; максимальные деформации имеет структурное покрытие;

по условному показателю «вес•деформации» наиболее оптимальным оказалось покрытие из арочных ферм, а наименее рациональным - структурное покрытие.

1. В рамках данной статьи выполнено создание КЭ модели расчетной схемы несущих металлических конструкций покрытия стадиона ФИШТ

2. Произведен анализ напряженно-деформированного состояния элементов расчетной схемы навеса покрытия на различные нагрузки и воздействия.

3. Выполнено конструирование нескольких вариантов устройства навеса над полем.

4. Определены рациональные параметры для каждого из вариантов навеса.

По итогам сравнения вариантов можно сделать вывод, что варианты с переменной в зависимости от пролета высотой навеса более рациональны.

### Литература

1. . Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
2. Воздействия на конструкции. Часть 1-5. Общие воздействия. Ветровые воздействия.
3. . Павлов, Л. Л. Специфика формирования архитектурно-планировочных решений крытых стадионов с крупногабаритной ареной: автореф. дис. на соиск, учен. степ. канд. архитектуры (18.00.02)/МГУ. -
4. Москва, 1975. - 165 с.
5. . SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. - М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. - 656 с.
6. . SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А.
7. Маляренко, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер, В.Г. Федоровский, В.В. Юрченко -
8. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. - 432 с.
9. . Нагрузки и воздействия на здания и сооружения/В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский,
10. А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин. - М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2009. - 528 с.
11. . Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа/А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. - М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. - 736 с.
12. . Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооруже-

- ния/М.Р. Гарифуллин, С. А. Семенов, С.В. Беляева, И.А. Порываев, М.Н. Сафиуллин, А.А. Семенов//Строительство уникальных зданий и сооружений. № 2 (17).
13. 2014. - С. 107-124.
  14. . Федорцев И.В. Технология возведения конструкций покрытия большепролетных зданий/И.В. Федорцев,
  15. Е.А Султанова. Учебное пособие - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2008г. - С. 5-17.
  16. Драган В.И. Большепролетная металлическая структурная конструкция системы «БРГТУ» для покрытия спортивного комплекса в г. Гродно, особенности расчета ее живучести/В.И. Драган, Н.Л. Морилова//Вестник Брестского государственного технического университета. № 1(85). 2014 - С.24-30
  17. . Горохов Е.В. Теоретическое и экспериментальное исследование конструктивных форм большепролетных покрытий над трибунами стадионов/Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, В. Р. Касимов, Ю.В. Сивоконь, И.Н. Прядко//Сборник научных работ Украинского научно-исследовательского и проектного института стальных конструкций им. В.М. Шимановского. Том 6. 2010.
  18. . Теплых А. В. Инженерные технологии построения расчетных моделей и анализа результатов в системе Scad Office: Модели металлокаркасов/А.В. Теплых, С.А. Смирнов, М.А. Горбушко, И.М. Ерофеев, А.С. Сидоров//CADmaster.№ 5. 2006. - С. 82-93.
  19. . Фурсов В.В. Проектирование и реконструкция спортивных арен различного назначения в г. Харькове/В.В Фурсов, Н.Д. Кошмай, А.Ю. Васильев//Сборник научных работ Украинского научно-исследовательского и проектного института стальных конструкций им. В.М. Шимановского. Том 5. 2010.
  20. . Канчели Н. В. Проект покрытия центрального стадиона в Москве//Пространственные конструкции зданий и сооружений. 1996. № 8. - С. 203-212.
  21. . Микулин В. Б., Фарфель М. И., Ханджи А. В. Покрытие Большой спортивной арены Олимпийского комплекса в Лужниках. // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 80 лет. 2007. С. 46-55.
  22. . Экспертная оценка конструктивных решений Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в г. Сочи /Назаров Ю. П.,

- Жук Ю. Н., Симбиркин В. Н., Ананьев А. В., Курнавин В. В. // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений. 2009. № 2. - С. 8-16.
23. . Кудишин Ю. И. О живучести несущих конструкций покрытия ледового дворца спорта на Ходынском поле в г. Москва/ Ю.И. Кудишин, Н. Я. Михалев// Металлические конструкции. 2007. № 3(13). - С. 131-141.
24. . Allen, С. М. The Toronto SkyDome, Canada//Structural Engineering International. Vol. 1. 1991. - Pp. 6-8.
25. . Fiel. W. Munich Olympic Stadium 2010//Eckhard Schulze-Fielitz. 2010. - Pp 246-251.
26. . Kearsley E. Mathematics, engineering and soccer stadiums//Quest. Vol.6. 2010. - Pp. 3-6.
27. . DING J.,ZHANG Zh. Structural system selection and application of roof steel structure in stadiums//Journal of Building Structures. 2011
28. . Reid W., Travers J. Wind tunnel testing of sports stadiums//Construction and Building Materials. Vol. 5. 1991. - Pp. 120-122.
29. ДРЕВЕСИНА КАК ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ УСТОЙЧИВОЙ АРХИТЕКТУРЫ. Вякина А.А., Канева Д.М., Кошкин Д.К. В сборнике: Наука и технологии в лесопромышленном комплексе, сборник научных трудов ④ международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 44-47.
30. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МОДУЛЬНОМ ДОМОСТРОЕНИИ. Кошкин А.К. В сборнике: Наука и технологии в лесопромышленном комплексе, сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 72-75.
31. О ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ. Комяков А.Н., Кошкин А.К. Труды международного симпозиума шли "Надежность и качество". 2023. Т. 1. С. 418-422.
32. ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ, КОНСТРУКТИВНЫХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Синянский И.А., Кошкин А.К., Леоненко И.А., Говорова Ж.М., Канивец У. С. Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 1. С. 8.
33. АРБОЛИТ - ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Кошкин А.К., Лазарева Т.Л. Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2017. Т. 3. С. 257-262.
34. Маракулина, С. П. Экологические аспекты устойчивого развития сельского жилища с применением технологии "Гитор" : специальность 25.00.36 "Геоэкология (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой сте-

пени кандидата технических наук / Маракулина Светлана Петровна. – Москва, 2004. – 29 с. – EDN NHTGIB.

35. Синянский, И. А. Выбор армирующих материалов для гипсобетона / И. А. Синянский, С. П. Маракулина // Инновации и перспективы развития архитектурной теории и практики. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – С. 176-181. – EDN CMLOUD.

36. Маракулина, С. П. Экологические основы застройки горно-котловинных городов / С. П. Маракулина // Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы : Материалы международной научно-практической конференции 25 сентября 2020 года , Москва, 25 сентября 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет по землеустройству, 2020. – С. 276-279.