

Опубликовано: Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н., Ананьев А.В., Курнавин В.В. Экспертная оценка конструктивных решений Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в г. Сочи// Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: Сборник научных статей в двух частях/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Ч. 2. – М.: ЦПП, 2009. – С. 8-16.

Ю.П. НАЗАРОВ, д-р. техн. наук, проф., **Ю.Н. ЖУК**, канд. техн. наук,
В.Н. СИМБИРКИН, канд. техн. наук, **А.В. АНАНЬЕВ**, инж., **В.В. КУРНАВИН**, инж.

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО СТАДИОНА И БОЛЬШОЙ ЛЕДОВОЙ АРЕНЫ ДЛЯ ХОККЕЯ С ШАЙБОЙ В Г. СОЧИ

Аннотация. В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко были разработаны специальные технические условия на проектирование, а также дана экспертная оценка проектам стадиона «П» на строительство ряда спортивных сооружений, необходимых для проведения в 2014 году Зимних Олимпийских Игр в г. Сочи. В статье представлены основные результаты рассмотрения проектов несущих конструкций двух из таких сооружений – Центрального стадиона на 40 тыс. мест и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой на 12 тыс. мест.

1. Архитектурно-конструктивные решения сооружений

Генеральным проектировщиком Центрального стадиона на 40 тыс. мест и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой на 12 тыс. мест на стадионе «П» выступало ООО «СЕВКАВНИПИАГРОПРОМ», г. Ростов-на-Дону.

Согласно проекту, объемно-планировочное решение здания Центрального стадиона (рис. 1, а) принято в виде оболочки, образованной площадкой для состязаний и трибунами с основными габаритами в плане 239.4x269.4 м и высотой 38.1 м от сформированной поверхности земли. Сооружение имеет сложную обтекаемую форму с изменяющимися геометрическими размерами и высотными отметками козырька над трибунами и стенового фахверка.

Здание стадиона включает шесть надземных и один подземный этаж с высотами этажей от 3.8 до 6.9 м.

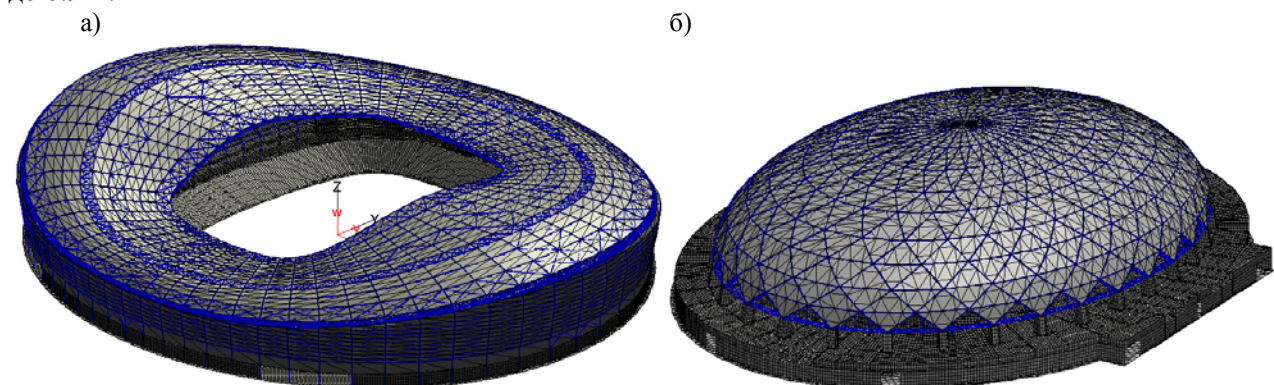


Рис. 1. Общий вид сооружений Центрального стадиона (а) и Большой ледовой арены (б)
(конечно-элементные модели)

Комплекс Большой ледовой арены для хоккея с шайбой (рис. 1, б) состоит из здания ледовой арены с трибунами для зрителей и примыкающего к нему здания тренировочной площадки (на рис. не показано), разделенных антисейсмическим швом. Общие габариты основного здания в плане – 168x220 м, высота от поверхности земли составляет 40.7 м. В здании предусмотрены два подземных и пять надземных уровней, соединенных между собой лестницами, пешеходными пандусами и лифтами. Двухэтажное здание тренировочной площадки прямоугольной формы имеет размеры в плане 95x45 м и высоту 8.1 м.

В качестве несущей системы Центрального стадиона и Большой ледовой арены применены монолитные железобетонные рамно-связевые каркасы с нерегулярной сеткой колонн.

Трибуны для зрителей устроены по монолитной сплошной плите толщиной 30 см, опирающейся на колонны и стены каркаса и усиленной радиально ориентированными, проходящими в створе колонн ребрами сечением 60x30(h) см.

Фундаменты сооружений – плитно-свайные, включающие буронабивные сваи диаметром 60 см и плиты ростверка толщиной 100 см.

Опубликовано: Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н., Ананьев А.В., Курнавин В.В. Экспертная оценка конструктивных решений Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в г. Сочи// Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: Сборник научных статей в двух частях/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Ч. 2. – М.: ЦПП, 2009. – С. 8-16.

Класс бетона несущих железобетонных конструкций сооружения – В25, класс стали поперечной арматуры – АІ (А240), продольной арматуры – АІІІ (А400).

Большепролетные конструкции покрытий сооружений запроектированы стальными из элементов электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10704-91.

Основные несущие элементы покрытия Центрального стадиона – радиальные стальные фермы, расположенные в плане с шагом 5° и 6° , опираются на железобетонные трибуны и имеют консольные участки вылетом от 30 до 50.3 м. Максимальная высота ферм – 7.3 м.

Устойчивость покрытия стадиона обеспечивается жестким сопряжением опорных стоек ферм с железобетонными конструкциями, а также системой кольцевых вертикальных и горизонтальных связей по верхним и нижним поясам ферм.

Основное здание Большой ледовой арены перекрыто куполом в форме эллипсоида, образованного вращением эллипса вокруг большей горизонтальной оси. Каркас купола образован системой кольцевых и перекрестных спиралевидных меридианных ферм. Размеры купола в плане 194×142 м, высота – 35 м. Купол опирается на железобетонные стойки, установленные с переменным шагом – от 16.2 до 17.6 м. Стойки высотой около 13.4 м оперты на плиту фундамента и соединены с плитами покрытий подземных уровней. Сопряжения всех элементов покрытия и узлы опирания покрытия на железобетонные опоры приняты жесткими.

2. Расчетные модели и нагрузки

Для оценки надежности конструктивных решений, принятых в проектах Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой, был произведен проверочный расчет пространственных моделей сооружений на проектные и аварийные нагрузки и воздействия. Расчет выполнен на основе метода конечных элементов с использованием программного комплекса STARK ES (разработчик – ООО «ЕВРОСОФТ», г. Москва).

В качестве расчетных моделей сооружений (см. рис. 1) использованы пространственные оболочечно-стержневые модели, в которых колонны, балки каркаса и элементы покрытия представлены стержневыми конечными элементами общего вида, плиты перекрытий и монолитные стены, конструкции пандусов, железобетонные опоры покрытия и наклонные трибуны – конечными элементами плоской оболочки.

Расчет конструкций выполнен на действие вертикальной постоянной и длительной нагрузки, к которой отнесен собственный вес несущих и ограждающих конструкций, перегородок, полов, кровли, длительной нагрузки от инженерного оборудования и систем освещения, временной нагрузки на перекрытия и трибуны, снеговой нагрузки, ветровых и температурных климатических воздействий, сейсмических воздействий.

Расчетные значения нагрузок определены в соответствии со СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» [1], специальными техническими условиями и рекомендациями, разработанными в лаборатории надежности сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Согласно ГОСТ 27751-88 [2] рассматриваемые сооружения относятся к I уровню ответственности, в связи с чем коэффициент надежности по назначению сооружений γ_n принят равным 1.2.

По карте сейсмического микрорайонирования участок строительства находится в зоне с сейсмичностью 9 баллов. В соответствии с указаниями табл. 1 СНиП II-7-81* [3] грунтовые условия участка относятся к III категории по сейсмическим свойствам. С учетом сейсмичности площадки по нормативной карте ОСР-97В с повторяемостью землетрясений 1 раз в 1000 лет (для объектов повышенной ответственности) и с учетом поправки на влияние грунтово-геологических условий непосредственно в контурах проектируемого объекта, коэффициент A в формуле (2) СНиП II-7-81* [3] принят равным 0.5.

Расчетный анализ, выполненный в рамках экспертизы проектов, включал в себя линейный и нелинейный статический расчет, анализ линейно-упругой устойчивости, форм и частот собственных колебаний конструкций, динамический расчет при ветровых и сейсмических воздействиях, расчет конструкций по предельным состояниям двух групп с использованием методик действующих норм [4, 5, 6]. Для Центрального стадиона, кроме того, была выполнена оценка параметров колебаний трибун при согласованном движении зрителей [7] (рис. 2), а также проверена способность

Опубликовано: Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н., Ананьев А.В., Курнавин В.В. Экспертная оценка конструктивных решений Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в г. Сочи// Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: Сборник научных статей в двух частях/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Ч. 2. – М.: ЦПП, 2009. – С. 8-16.

конструкций покрытия противостоять лавинообразному разрушению при запроектных аварийных воздействиях [8, 9, 10].

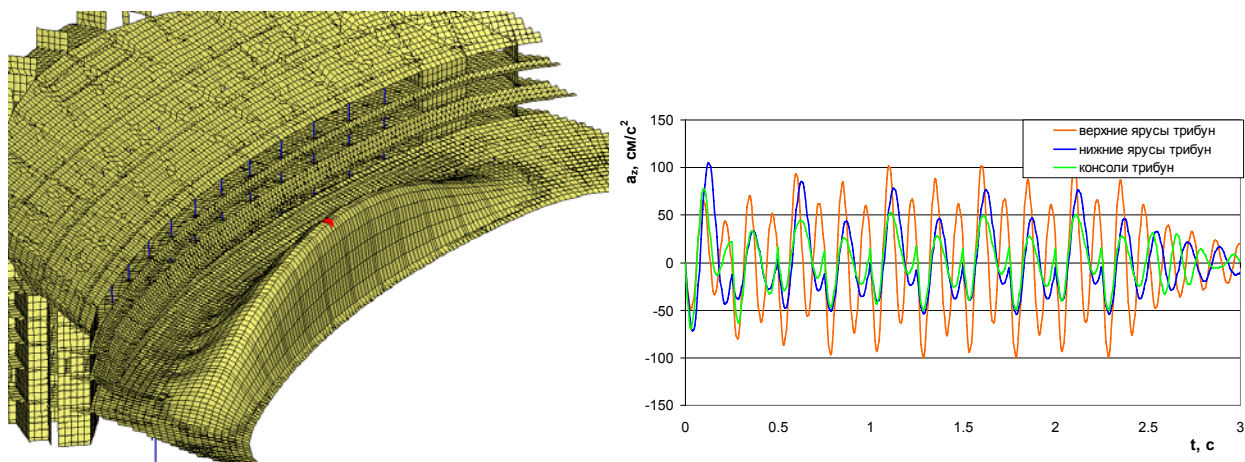


Рис. 2. Результаты динамического расчета конструкций трибун при воздействии зрителей

При анализе сейсмостойкости сооружений использован линейно-спектральный метод расчета. Рассмотрены два ортогональных горизонтальных направления, одно из которых соответствует наибольшей суммарной величине активных масс сооружения, и вертикальное направление поступательного сейсмического воздействия. Спектральный состав возможных сейсмических воздействий определен путем обработки расчетных акселерограмм, синтезированных для каждой площадки строительства (рис. 3).

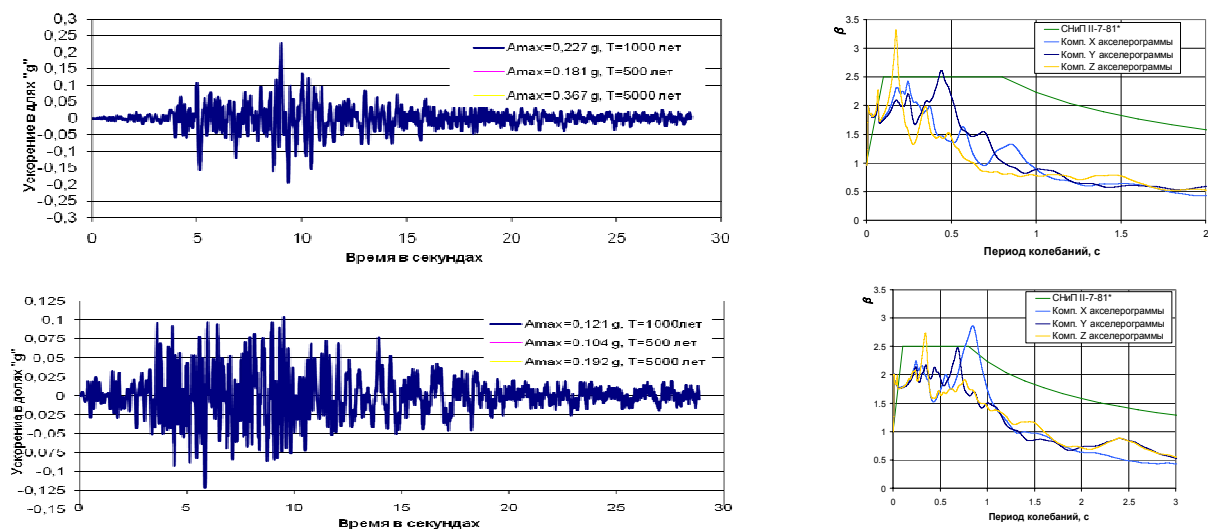


Рис. 3. Расчетные параметры сейсмических воздействий

В результате выполненных расчетов была оценена общая жесткость и устойчивость конструкций, а также несущая способность основных несущих элементов сооружений (рис. 4).

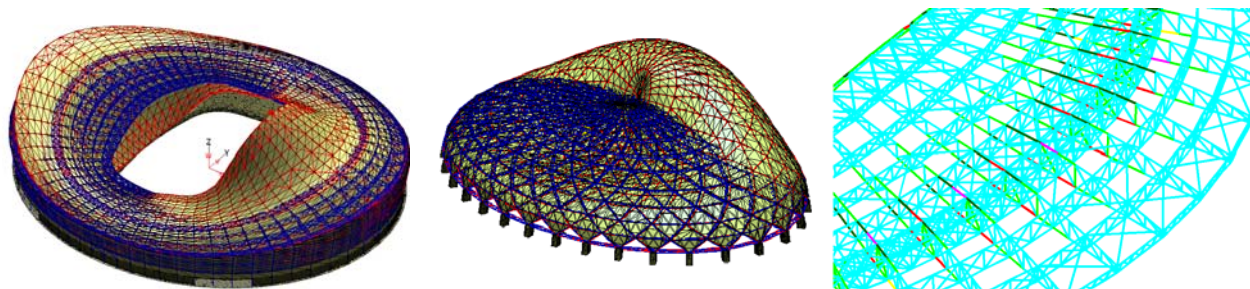


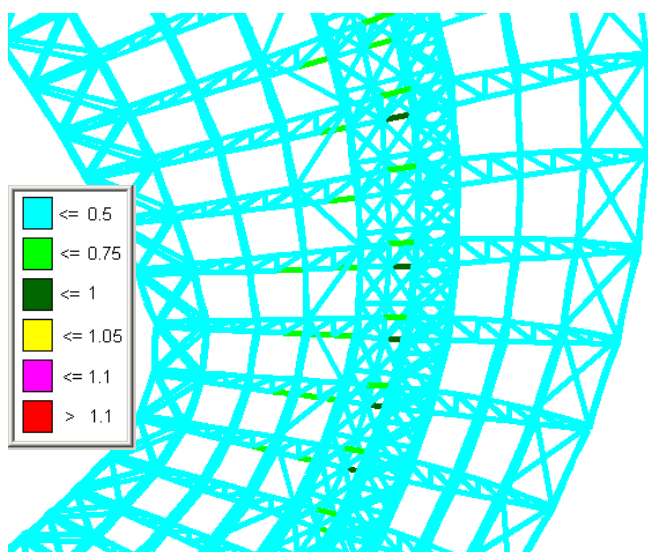
Рис. 4. Результаты расчета конструкций на прочность, устойчивость и колебания

3. Результаты расчета и выводы

По результатам проверочных расчетов в проект конструкций рассматриваемых сооружений генеральным проектировщиком были своевременно внесены следующие изменения:

- для несущих конструкций покрытий принята марка стали С345 по ГОСТ 27772-88* взамен стали С245;
- в купольную конструкцию покрытия Большой ледовой арены добавлен наружный растянутый опорный контур;
- железобетонные вертикальные диафрагмы жесткости Центрального стадиона доведены до верха каркаса (до уровня опирания покрытия на железобетонные конструкции);
- увеличены толщины некоторых железобетонных плит и несущих стен;
- увеличены размеры сечений некоторых железобетонных колонн;
- в конструкциях плит перекрытий устроены капители в зонах опирания плит на колонны;
- предусмотрены дополнительные опоры пандусов.

В результате сделан вывод о том, что несущие конструктивные системы, принятые в проектах Большой ледовой арены на 12 тыс. мест и Центрального стадиона на 40 тыс. мест в г. Сочи, позволяют обеспечить жесткость и устойчивость сооружений при расчетных нагрузках и воздействиях в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [1-5] и могут быть рекомендованы для дальнейшей реализации на стадии рабочего проектирования. Также было установлено, что устойчивость конструкции покрытия над трибунами Центрального стадиона к прогрессирующему разрушению при аварийном выходе из строя отдельных несущих элементов и опорных узлов обеспечена (рис. 5).



Состояние	Наибольший прогиб покрытия, мм	Наибольшее значение коэффициента использования прочности элементов
Проектное (к моменту аварийного воздействия)	220	0.822
Аварийное	Схема 1	0.908
	Схема 2	0.822
	Схема 3	0.862
	Схема 4	0.876
	Схема 5	0.822
	Схема 6	0.890
	Схема 7	0.869

Рис. 5. Результаты расчета несущей способности покрытия Центрального стадиона при аварийных ситуациях

Кроме того, при разработке проектов на стадии рабочей документации рекомендовано принять корректировки, усиливающие несущие конструкции и повышающие надежность сооружений. Так, с целью повышения сейсмостойкости зданий предложено рассмотреть возможность дополнительного

Опубликовано: Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н., Ананьев А.В., Курнавин В.В. Экспертная оценка конструктивных решений Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в г. Сочи// Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: Сборник научных статей в двух частях/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Ч. 2. – М.: ЦПП, 2009. – С. 8-16.

опирания конструкции покрытия Центрального стадиона по его наружному контуру (рис. 6), а железобетонные плиты перекрытий больших пролетов (более 8-9 м) усилить системой балок.



Рис. 6. Низшие частоты собственных колебаний покрытия Центрального стадиона

Также определены рекомендуемые минимальные сечения трубчатых элементов покрытий сооружений и требуемое количество рабочей арматуры в железобетонных конструкциях. Для повышения динамической комфортности зрителей на трибунах стадиона при колебаниях трибун вследствие согласованного движения зрителей во время проведения любых мероприятий рекомендовано увеличить высоту сечения балок трибун на 20 см, приняв полную высоту сечения балок равной 80 см.

Литература

1. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия». – М.: ЦПП, 2003.
2. ГОСТ 27751-88 (СТ СЭВ 384-87) «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету». – М.: Издательство стандартов, 1988.
3. СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». – М.: ЦПП, 2000.
4. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции». – М.: ЦПП, 1998.
5. СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». – М.: ЦПП, 2004.
6. СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного натяжения арматуры». – М.: ЦПП, 2004.
7. Dynamic performance requirements for permanent grandstands subject to crowd action. Interim guidance on assessment and design. – London: The Institution of Structural Engineers, 2001. – 22 p.p.
8. СТО 36554501-014-2008 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». – М.: НИЦ «Строительство», 2008.
9. МДС 20-2.2008 «Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях». – М.: НИЦ «Строительство», 2008.
10. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях// Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – № 4. – С. 5-9.