



Дмитрий Лазовский
Тимофей Пецольд
Владимир Журавский
Александр Поправко

Эксплуатационная надежность металлических конструкций покрытий конькобежного стадиона и велодрома

Проектирование зданий и сооружений предусматривает длительный срок их эксплуатации в нормальных условиях и при надлежащем уходе за конструкциями.

Кроме повреждений, накапливающихся в процессе эксплуатации, на работоспособность строительных конструкций и их отказы в работе могут оказывать влияние сейсмические воздействия, опасные метеорологические явления, пожары, взрывы снаружи и внутри сооружений, значительные дефекты материалов и производства работ и др.

Возникновение чрезвычайных ситуаций полностью исключить невозможно, но стремиться к минимизации их последствий необходимо.

Последствия аварий большепролетных конструкций покрытий являются наиболее разрушительными. Поэтому уже на стадии их проектирования следует обеспечить безопасность находящихся в сооружениях людей и сохранность имущества за счет снижения вероятности прогрессирующего (лавинобразного, цепного и др.) обрушения при локальных разрушениях отдельных несущих элементов. Эти локальные разрушения не должны приводить к разрушению соседних несущих элементов, воспринимающих дополнительные усилия при измененной конструктивной схеме их работы. Устойчивость сооружений против прогрессирующего обрушения должна обеспечиваться конструктивными и профилактически-

ми мероприятиями и проверяться расчетом.

В деле предупреждения аварий эксплуатируемых металлических конструкций, согласно [1], важное значение имеют служба эксплуатации и надзора за несущими конструкциями, усиление конструкций и сопутствующее ему регулирование напряжений в элементах, выявление неучтенных запасов прочности, улучшение методик расчета строительных конструкций.

В работе [2] предлагается три способа предупреждения прогрессирующего обрушения строительных конструкций: общее упрочнение всего сооружения, местное усиление отдельных элементов и конструктивная взаимосвязь элементов.

Известен ряд документов, определяющих правила проектирования для предотвращения прогрессирующего обрушения конструкций зданий [3, 4], а также "Рекомендации...", разработанные МНИИТЭП и НИИЖБ, утвержденные Москомархитектуры в 2005 г. В случае возникновения чрезвычайных воздействий на отдельные элементы, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации здания, его конструктивная схема должна обеспечивать прочность и устойчивость как минимум во время, необходимое для эвакуации людей.

В основу расчета применительно к металлическим конструкциям положены следующие предпосылки:

- расчет производится на особое сочетание нагрузок и воздействий, вклю-

чающее постоянные и временные длительные нагрузки согласно [5] при коэффициентах сочетаний нагрузок и коэффициентах надежности по нагрузкам, равным 1, а также одно из гипотетических воздействий на конструкции в виде исключения из расчета отдельных несущих элементов;

- для учета эффекта падения обрушившихся конструкций при внезапном исключении отдельных несущих элементов вводятся коэффициенты динамичности для постоянных и временных нагрузок, попадающих в сектор обрушения;

- расчетные характеристики материалов конструкций принимаются равными их нормативным значениям согласно [6] без учета коэффициентов условий их работы;

- обеспечение пластичной работы конструктивной системы в результате применения пластичных сталей, допустимость работы сталей за пределом текучести;

- перемещения конструкций при чрезвычайных воздействиях не ограничиваются.

Поверочные расчеты на прогрессирующее обрушение были проведены для металлических большепролетных конструкций покрытий сооружений конькобежного стадиона и велодрома МКСК "Минск-Арена", запроектированных ЗАО "Белпроектстальконструкция" [7].

Конструкции эти однотипны и представляют собой в плане овал шириной (максимальным пролетом) 86 м и дли-

ной соответственно 198,5 и 115 м без температурных швов. В обоих сооружениях отметка низа несущих конструкций покрытия, опирающихся на железобетонный каркас, составляет 12,84 м, а отметка верха покрытия переменная – из-за изменения высоты несущих конструкций с уменьшением их пролетов к торцам здания (рис. 1, 2).

зающихся винтов и комбинированных заклепок крепится стальной профилированный настил покрытия, воспринимающий постоянные и временные нагрузки. Профнастил рассчитан по неразрезной трехпролетной схеме (рис. 3).

Компьютерное моделирование поведения металлических большепролетных конструкций покрытий названных со-

ных нагрузок с учетом коэффициентов сочетаний и коэффициентов надежности постоянных (собственного веса элементов покрытий) и временных нагрузок (снеговой и ветровой, от веса коммуникаций, оборудования, температурных воздействий). При этом на воздействия вертикальных нагрузок не учитывалась работа связей и стального профилированного настила. Как показали результаты поверочных расчетов данного этапа, все несущие элементы вышеназванных покрытий соответствуют условиям прочности и устойчивости при действии проектных нагрузок.

На втором этапе расчет конструкций покрытий на прогрессирующее обрушение производился в соответствии с вышеприведенными положениями. В качестве расчетных схем рассматриваемых сооружений в соответствии с рекомендациями [3] использовались пространственные расчетные модели с учетом элементов, которые при нормальных эксплуатационных условиях являются ненесущими, а при наличии локальных разрушений активно участвуют в перераспределении нагрузки (вертикальные и горизонтальные связи, неразрезность прогонов, работа стального профилированного настила по арочной схеме и т.д.). В качестве гипотетического воздействия на несущие конструкции приняты следующие локальные воздействия: для двухшарнирных арок – локальное разрушение затяжек, для раскосных ферм – локальное разрушение опорных раскосов, в результате которых они освобождаются на одной из опор от связей и передают нагрузку на соседние элементы покрытия [8].

Важную роль в перераспределении усилий при локальном разрушении играют связи, особенно вертикальные. В результате поверочных расчетов второго этапа были существенно увеличе-

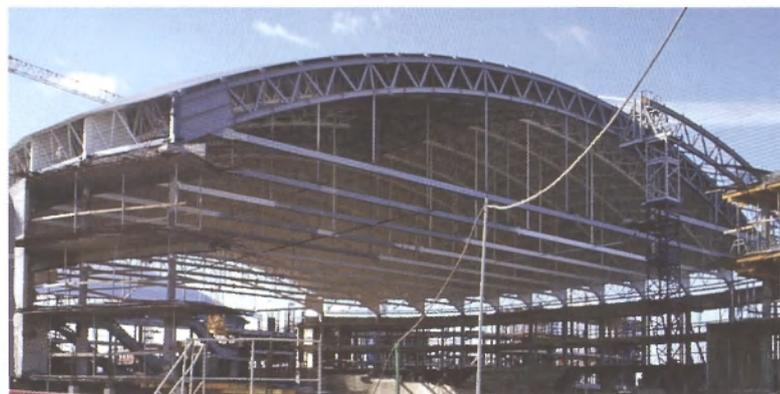


Рис. 1. Монтаж арок покрытия велотрека

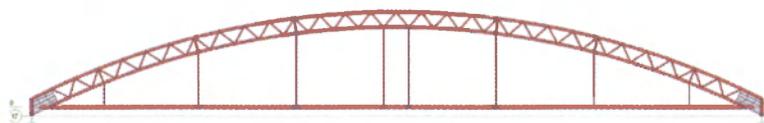


Рис. 2. Конструктивная схема несущих конструкций покрытий конькобежного стадиона и велотрека МКСК "Минск-Арена"

Несущие большепролетные конструкции запроектированы в виде однопролетных двухшарнирных арок с опорными узлами из листовой стали и затяжками с шагом 7,5 м, опирающимися на предварительно выверенные шарнирные опоры, которые обеспечивают возможность их поворота. С целью уменьшения влияния температурных воздействий с одной из сторон сооружения конструкция опор дает возможность всестороннего горизонтального перемещения. Пояса арок запроектированы из сварных коробчатых сечений, решетка – из гнутосварных замкнутых профилей, затяжки – из сварного двутавра на подвесках из гнутосварных замкнутых профилей. С целью исправления погнутостей, линейных отклонений при монтаже и более эффективного включения в работу проектом предусмотрено предварительное напряжение затяжек арок с помощью высокопрочных болтов в соединительном фланце в середине их пролета.

Пространственная устойчивость плоских несущих конструкций обеспечивается неразрезными решетчатыми прогонами покрытия, а также системой горизонтальных (в уровне верхнего пояса) и вертикальных (по двум линиям в пролете и у опор арок) связей из гнутосварных замкнутых профилей.

На решетчатые прогоны, установленные с шагом 3 м, с помощью самонаре-

оружений в случае чрезвычайных воздействий, вызвавших локальные разрушения отдельных элементов несущих конструкций, выполнялось с применением сертифицированного программного комплекса "SCAD-Office" (Киев, Украина).

Поверочные расчеты выполнялись в два этапа. На первом осуществлялась проверка прочности и устойчивости элементов несущих конструкций при действии расчетных сочетаний расчет-

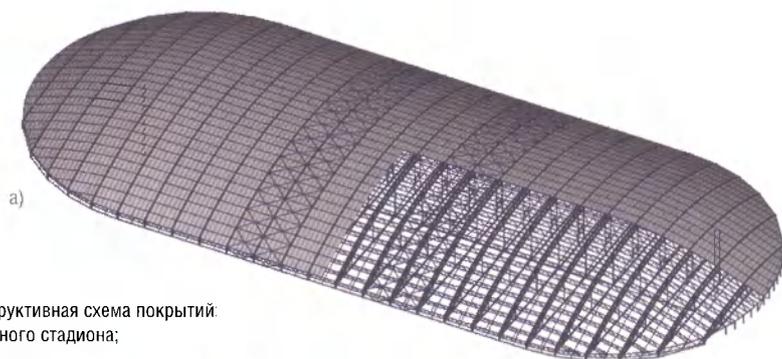
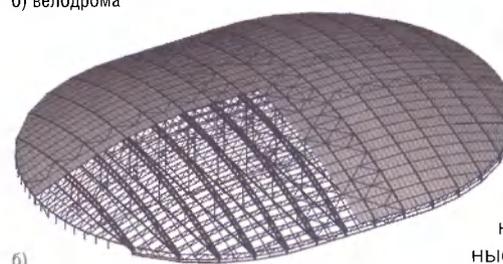


Рис. 3. Конструктивная схема покрытий а) конькобежного стадиона; б) велотрека



ны их поперечные сечения, которые в сочетании с работой неразрезных прогонов и стального профилированного настила в продольном направлении (вдоль волн) позволяют конструкции покрытия с измененной расчетной схемой воспринимать аварийные нагрузки.

В табл. 1 и 2 приведены результаты расчета на прогрессирующее обрушение с учетом последовательного локального разрушения отдельных элементов и последующего подбора сечений элементов, прочность и устойчивость которых недостаточны для восприятия аварийных нагрузок.

Кроме увеличения поперечного сечения связей и прогонов, эффективно передающих дополнительные усилия на соседние несущие конструкции, для повышения устойчивости конструкций покрытия против прогрессирующего обрушения целесообразно предусматривать дополнительные конструктивные меры, исключающие возможность потери устойчивости отдельных элементов (например при местном изгибе горизонтальных полок спаренных уголков верхнего пояса ферм при пластическом деформировании поперечных прогонов с изгибом) в виде ребер жесткости или центрирующих опорных подкладок по оси фермы в месте опирания прогонов.

Произведенные поверочные расчеты и подбор сечений несущих элемен-

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение конькобежного стадиона и велодрома МКСК "Минск-Арена"

Конструктивный элемент	Исходное сечение	Результат подбора
Разрушение участка затяжки по оси "40"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "39"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "38"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "37"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "36"		
Связи РС1 (в местах примыкания к РС3 в осях "34-35" и "46-47" по оси "Р")	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили 100x7,5 по ГОСТ 30245-2003	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили 160x8 по ГОСТ 30245-2003
Разрушение участка затяжки по оси "35"		
Верхний пояс прогонов покрытия П28	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили 200x160x8 по ГОСТ 30245-2003	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили 240x160x11 по ГОСТ 30245-2003
Разрушение участка затяжки по оси "34"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение велодрома МКСК "Минск-Арена"

Конструктивный элемент	Исходное сечение	Результат подбора
Разрушение участка затяжки по оси "15"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "14"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "13"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "12"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "11"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "10"		
Связи СВ1 (вертикальные торцевые)	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили 120x4 по ГОСТ 30245-2003	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили 120x8 по ГОСТ 30245-2003
Разрушение участка затяжки по оси "9"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "8"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "7"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "6"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "5"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "4"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		
Разрушение участка затяжки по оси "3"		
Устойчивость покрытия против прогрессирующего обрушения обеспечена		

Таблица 1

тов большепролетных покрытий в случае аварийных воздействий, вызвавших локальные разрушения отдельных элементов несущих конструкций, позволили выявить важную роль связей, неразрезности прогонов, эффективную работу стального профилированного настила в продольном направлении (при его закреплении на прогонах и листов между собой) в восприятии аварийных воздействий, а также незначительные дополнительные расходы металла (до 1,5–2% от исходного собственного веса металлоконструкций) для обеспечения устойчивости конструкций покрытий против прогрессирующего обрушения.

Литература

1. Лашенко, М.Н. Повышение надежности металлических конструкций зданий и сооружений при реконструкции. – М.: Стройиздат, Ленингр. отд., 1987. – 136 с.
2. Новые функции ПК "SCAD" версии 11.1. – Киев, 2006. – 37 с.
3. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях / Шапиро, Г.И., Коровкин, В.С., Эйсмэн, Ю.А. Стругацкий, Ю.М. – М.: МНИИТЭП, 2002. – 11 с.
4. ТСН 31–332–2006. Жилые и общественные высотные здания. – Санкт-Петербург, 2006.
5. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. – М., 1996.
6. СНиП II-23–81*. Стальные конструкции. – М., 1996.
7. Расчет на прогрессирующее обрушение большепролетных металлических конструкций покрытия / Лазовский, Д.Н. (и др.) // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2007. – № 6. – С. 29–35.
8. СТБ ЕН 1990–2007. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций.