ISSN 1997-0935

научно-технический журнал

вестник мгсу

2/2009

материалы оборудование технологии

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ КРЫТОГО КОНЬКОБЕЖНОГО ЦЕНТРА В КРЫЛАТСКОМ

Д.Ю. Дробот

МГСУ

В 2007 г для объекта ККЦ постоянный мониторинг сооружения оказался бесполезен для «чудом» не произошедшего полного обрушения сооружения. Произошел срез металлической шпильки («пальца»), соединяющей звенья оттяжки (см. рис. 1-2). Одна из причин среза согласно публикациям в СМИ – брак в материале шпильки [4].

В административном порядке было решено произвести срочный ремонт сооружения. Ремонт состоял из следующих этапов:

- установки по периметру кольцевой балки временных опор для разгрузки оттяжек (см. рис. 3а),
- установки на поврежденное звено оттяжки временного страхующего устройства (см. рис. 3б),
- замены поврежденного пальца,
- установки 2-х дополнительных постоянных тросов, предназначенных для разгрузки и дублирования оттяжек (см. рис. 4а).

Общая продолжительность ремонта сооружения составила около полугода.

В настоящей статье авторы представляют краткие результаты исследования живучести несущих конструкций объекта, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

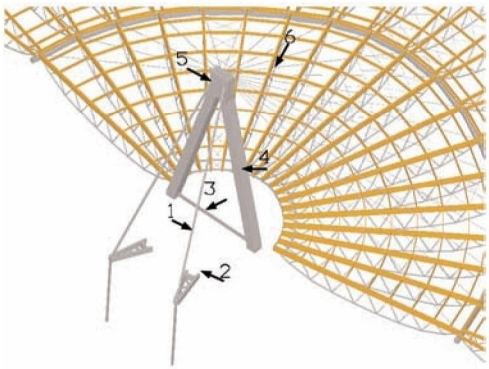

Рис. 1. Фрагмент расчетной модели сооружения. Элементы № 3, 4 и узел № 5 являются ключевыми.

Несущие конструкции. ККЦ можно рассматривать как систему, состоящую из 4-х частей:

- 1-я включает радиальные элементы (фермы, связи по верхнему поясу ферм, прогоны с уложенным по ним профнастилом), образующие поверхность диска покрытия, кольцевую балку, связывающую фермы. Верхние пояса ферм Ф-1 и Ф-2 деревянные и имеют сечение 42x150 см для ферм Ф-1 и 33x100 см для ферм Ф-2. Нижние пояса ферм полигональные и выполнены из трубы ∅203x20 мм. Раскосы ферм – труба ∅168x8 мм;
- 2-я включает все 19-ть вант. Ванты марки 31Н15, фирма-изготовитель - «Фрейссине»;

- 3-я включает опорную ж/б башню. Сверху цилиндрической башни расположена опорная ж/б плита толщиной 2м и радиусом около 17,0м. Плита под опорными площадками дополнительно подкреплена железобетонными стойками диаметром 2,5 м.

- 4-я включает два пилона с затяжкой по ним, две оттяжки с элементами упора в ж/б стол. Пилон по фасаду представляет собой «Л» - образную стойку высотой ~50 м, изготовленную из труб диаметром 2,5 м с толщиной стенки 50 мм. Звенья оттяжек состоят из 10-ти металлических листов 450х 40 мм. Угол наклона оттяжки к вертикали 27,5°.

Рис. 2. Слева – неповрежденные звенья оттяжек, справа - аварийная ситуация, образовавшаяся в результате хрупкого разрушения пальца.

Логико-топологический (кинематический) анализ последствий отказов. Т.к. сооружение содержит очень большое количество элементов, а время расчета одного отказа составляет 30…70 мин, то численно проанализировать в динамической постановке поведение сооружения, даже учитывая радиально-веерную топологию, при отказе любого элемента или узла последовательным перебором крайне затруднительно. Также следует учитывать, что результаты расчетов отказов, при которых важную роль будет играть работа прогонов, профнастила по висячей схеме, имеют низкую достоверность.

В качестве упрощения можно не рассматривать отказы тех элементов, узлов, отказы которых будут приводить к менее тяжелым повреждениям.

Элементам 1-й части системы свойственна работа в одном – в радиальном направлении. Поэтому при отказе любого элемента ферм будет происходить обрушение участка, радиальные границы которого это соседние фермы.

При отказе кольцевой балки покрытие распадется на две независимые системы, которые потенциально смогут сохранить несущую способность. Это возможно за счет того, что жесткость и геометрическая неизменяемость покрытия будет обеспечена, прежде всего, топологическим дублированием кольцевой балки системой крестовых связей, образующих в радиальном направлении по верхним поясам ферм четыре луча.

Элементы 2-й части. Можно выделить два варианта: отказ крайнего и промежуточного ванта. Отказ крайнего ванта представляется более опасным, т.к. в этом случае кольцевая балка будет работать как консоль. Потенциально обеспечить несущую способность при отказе любого ванта возможно соответствующим расходом материалов на элемент кольцевой балки.

Отказы элементов 3-й части тождественны по последствиям отказам элементов 4-й части. Отказ затяжки по пилонам приводит к механизму - посадке «Л»-образного пилона на «шпагат». Отказ одной из ног пилона тоже приводит к механизму – поворот второй ноги вокруг собственной оси и относительно своей нижней опоры. Отказ затяжки

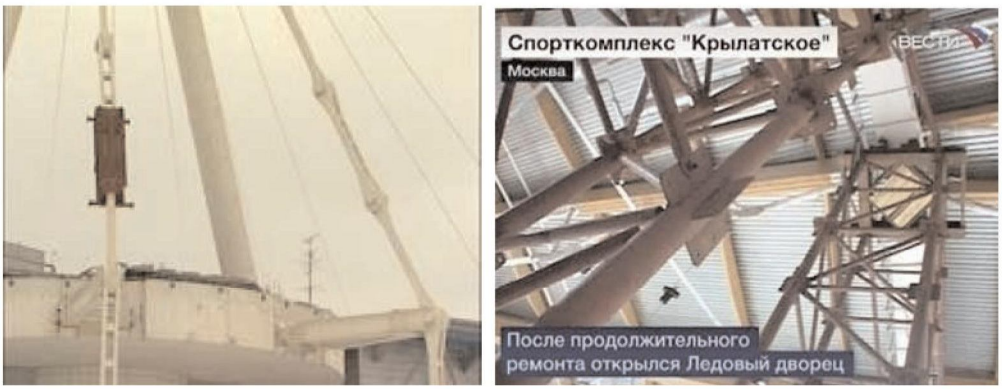

Рис. 3.

(топологически ее дублирует вторая оттяжка), или ее упора в ж/б столб не приводит к геом. изменяемости сооружения, при этом потенциально возможно обеспечить несущую способность сооружения.

Отказы связей между элементами 1-й и 2-й частей. Соединение ванты с тремя фермами топологически параллельно остальным аналогичным 19-ти соединениям. Отказ узла стыковки трех ферм и ванта приводит к механизму - обрушится только радиальный сектор, границы которого – соседние радиальные фермы. Такими же будут конечные повреждения при отказе любого узла, элемента фермы, в том числе опорного. Маловероятно, но обрушение могут предотвратить прогоны и профнастил, работающие по висячей схеме.

Очевидно, что наиболее тонкое место – это связь 2-й и 4-й частей. Связь 2-й и 4-й частей системы в одном узле представляет собой элемент последовательного соединения. При отказе такой логической связи, в натуре верхнего узла, система теряет свою структурную целостность и становится геометрически изменяемой, т.к. превращается в кинематический механизм. Аналогичная ситуация будет и при осуществленном недавно в натуре усилении! Ввод двух новых тросов сохраняет значение узловой связности сооружения равной нулю.

В рамках исследования предлагается следующая идея усиления: за счет введения новых элементов фермы диска покрытия начинают работать по неразрезной схеме. Для этого:

- по нижним поясам ферм между центральными (наиболее низкими) узлами протягиваются тросы, работающие в качестве затяжек только на растяжение. Для уменьшения провиса от собственного веса тросы по длине подвешиваются к промежуточным узлам ферм. Возможен вариант, при котором длина тросов подбирается так, чтобы они включались в работу только в аварийной ситуации.

При установке еще дополнительных элементов конструктивную форму диска покрытия можно преобразовать в структурную плиту, работающую в 2-х направлениях. Для этого:

- между узлами по нижним поясам фермам устанавливаются горизонтальные элементы в тангенциальном направлении;

- добавляется система наклонных элементов от нижних узлов одной фермы к верхним узлам соседних.

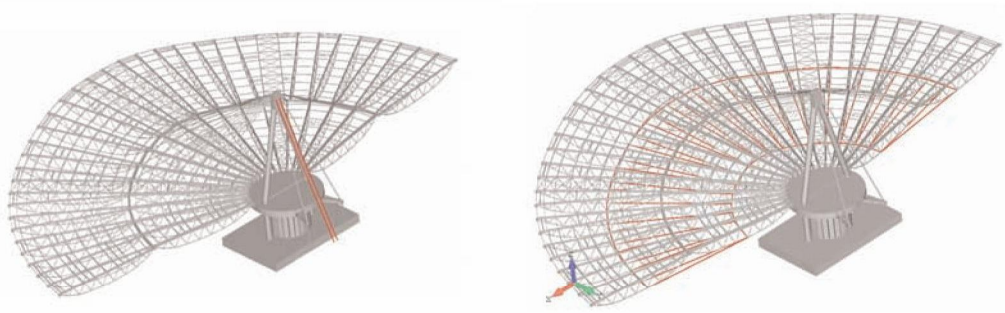

Рис. 4. Слева усиление за счет двух новых оттяжек из канатов (усиление реализовано в натуре), справа – предлагаемый вариант усиления в структурную плиту.

Нельзя не отметить негативный фактор такого усиления: во время аварии происходит частичное «выключение» из работы раскосов и нижних поясов ферм, расположенных в зоне вдоль кольцевой балки, что приводит к дополнительному нагружению оставшихся по краям элементов. В случае такого усиления при самом опасном отказе (отказе верхнего узла пилонов) живучесть покрытия представляется возможным обеспечить соответствующим расходом материала на новые усиливающие элементы.

Выводы:

- конструктивная форма ККЦ является крайне опасной;
- в настоящее время сооружение **ККЦ** с учетом осуществленного в натуре усиления по-прежнему **обладает нулевой живучестью** и требует усиления;
- предложенные варианты усиления позволят обеспечить безопасность эксплуатации объекта.

Литература

1. МГСН 5.02-99. «Проектирование городских мостовых сооружений».
2. Айзенберг Я.М. «О концептуальных правилах повышения сейсмостойкости и живучести сооружений». Сейсмостойкое строительство. Безопасность зданий и сооружений. 2003, №3
3. Uwe Starossek, Dr.-Ing. VSL Korea Co. Ltd Seoul, Korea. «Progressive collapse study of a multi-span bridge». Structural Engineering International, 2/99, Science and Technology.
4. . http://www.gazeta.ru/news/social/2008/01/18/n_1164338.shtml
5. К вопросу о живучести строительных конструкций. Ю.И. Кудишин, Дробот Д.Ю. Строительная механика и расчет сооружений. 2(217)/2008. ФГУП «НИЦ «Строительство», «Строительная механика и расчет сооружений», 2008г

Ключевые слова: Живучесть, надежность, нелинейный динамический анализ, отказ элемента, предельные пластические деформации, большепролетное покрытие, повреждение.

Рецензент: Кудишин Ю. И., д.т.н., проф., зав. каф. «Металлические конструкции» МГСУ.

Дополнительную информацию можно найти в разделе публикации на сайте www.905505.ru