

# ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕМБРАННЫХ ОБОЛОЧЕК НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.В. КАНЧЕЛИ, техн. директор, гл. конструктор ЗАО «Курортпроект», заслуж. строитель РФ, действ. член Международной академии архитектуры, доктор техн. наук;

П.А. БАТОВ, начальник ОСК1, зам. гл. конструктора ЗАО «Курортпроект», канд. физ.-мат. наук;

Д.Ю. ДРОБОТ, руков. группы инженеров ОСК1 ЗАО «Курортпроект»

**Излагаются особенности проектирования и технологии сборки мембранных оболочек.**

Первые мембранные оболочки появились в России в начале XX века и были разработаны великим русским инженером В.Г. Шуховым. С появлением компьютеров, которые позволяли выполнять весьма точные расчеты всевозможных мембран на различные воздействия, наступил следующий этап в развитии мембранных систем.

Мембранные покрытия, состоящие из тонкого металлического листа, закрепленного на контуре, являются одним из эффективных типов пространственных конструкций. Используя в качестве материала сталь толщиной всего 2–5 мм, можно перекрывать пролеты свыше 300 м. В тонколистовых оболочках наиболее полно используется несущая способность материала, так как она работает на растяжение в двух направлениях. Цепные усилия с пролетной конструкции воспринимаются замкнутым контуром, работающим вместе с мембраной, которая обеспечивает его устойчивость. В этих системах в одном элементе (мембране) совмещаются несущие и ограждающие функции. Существенное облегчение собственного веса мембранных покрытий, относительная простота их монтажа, применение большеразмерных рудонных полотен заводского изготовления предопределяют снижение трудоемкости и стоимости их возведения, сокращение сроков строительства.

ЗАО «Курортпроект», изучив опыт строительства мембранных оболочек олимпийских стадионов в Москве и Ленинграде, в 2001 г. приступил к проектированию мембранного покрытия (размером 200x110 м) над ареной конькобежного стадиона в г. Коломне. Монтаж покрытия был закончен осенью 2004 г. [1]. С этого времени проводится постоянный мониторинг деформаций элементов мембранного покрытия. Совпадение замеренной картины деформаций (в том числе при близких к расчётным величинам снеговой нагрузки)

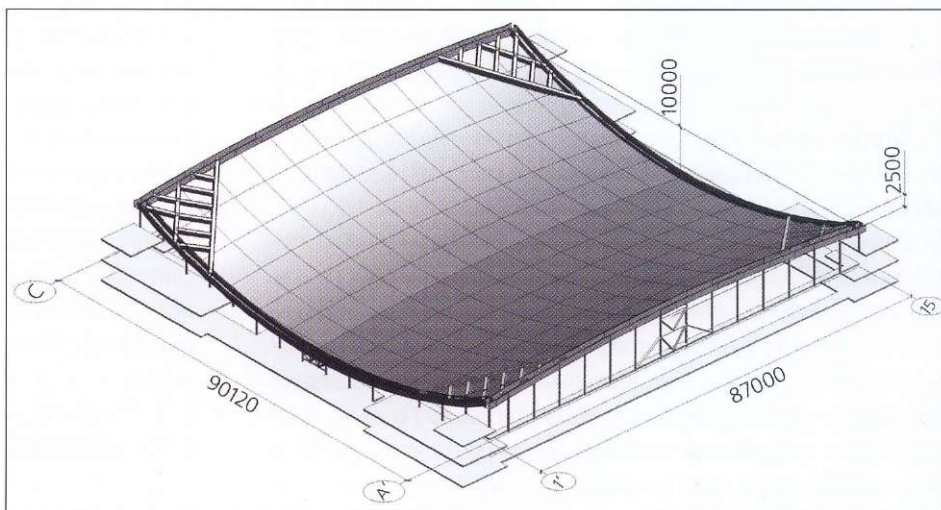


Рис. 1. Аксонометрическая схема мембранного покрытия



Рис. 2. Мембранное покрытие арены «Ермак» в г. Ангарске

с полученными в результате компьютерных расчетов явилось практической проверкой правильности этих расчетов и принятых проектных решений.

В 2004 г. ЗАО «Курортпроект» начал проектирование мембранного покрытия хоккейного стадиона «Ермак» в г. Ангарске. Прямоугольное в плане покрытие 90x87 м представляет собой оболочку переноса, образованную движением провисающей параболы пролетом 90 м, со стрелкой 10 м по впаду параболы пролетом 87 м, со стрелкой 2,5 м (см. рис. 1, 2).

Мембранные системы покрытия стадионов в Ангарске и Коломне, несмотря на внешнее отличие, конструктивно весьма близки, что позволило максимально использовать уже накопленный опыт. Задание начальных параметров элементов

мембранного покрытия в г. Ангарске было выполнено по рекомендациям в работе [2]. При дальнейших расчетах эти параметры уточнялись.

Мембрана выполнена из стального листа толщиной 4 мм и возводится раскаткой рулонированных стальных листов по висячей «постели».

Висячая «постель» представляет собой систему дискретных висячих элементов, расположенных вдоль одной из осей сооружения, где поверхность прогнута вниз. «Постель» выполнена из стальных полос 200x6 мм, идущих с шагом 2,0 м.

Опорный контур оболочки имеет прямоугольное сечение размерами 1,2(И)х1,5м, выполнен в виде стального короба с уложенной внутри арматурой и заполненного бетоном (рис. 3).

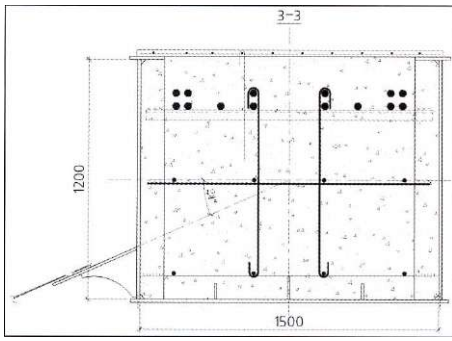


Рис. 3. Поперечное сечение опорного контура

Предварительные расчёты показали, что если на стадии до заварки мембраны не принять определённые временные конструктивные меры, то изгибающие моменты и перемещения в горизонтальной плоскости контура будут в несколько раз больше, чем перемещения и моменты в эксплуатационной стадии.

Поэтому с целью увеличения жесткости опорного контура и уменьшения в нем моментов, в углах оболочки с помощью ортогональной балочной клетки выполнены 4 жестких в плоскости поверхности участка. Эти участки попарно соединены временными стальными затяжками, демонтируемыми после заварки мембраны (рис. 4). Затяжки позволили сократить деформации контура и уменьшить изгибающие моменты в несколько раз.

Опорная система оболочки воспринимает вертикальные и горизонтальные воздействия и обеспечивает общую устойчивость сооружения при сохранении возможности свободного перемещения опорного контура в направлении, ортогональном плоскости наружных стен. Это достигается устройством колонн с полными шарнирами с обоих концов, что позволяет не передавать изгибающие моменты на колонны и нижележащие конструкции при изменении вертикальных нагрузок на покрытие.

Все горизонтальные воздействия (ветер, сейсмика и т.д.) воспринимаются плоскими рамами с цилиндрическими шарнирами в плоскости рам по осям наружных стен.

При возведении мембранного покрытия был принят следующий порядок монтажа:

1. Устанавливаются наклонно стале-бетонные колонны и связевые панели, раскрепленные временными связями, в соответствии с выгибом опорного контура по заранее возведенному железобетонному каркасу обстройки существующих трибун. Угловые колонны в нижних узлах привариваются к закладным деталям в

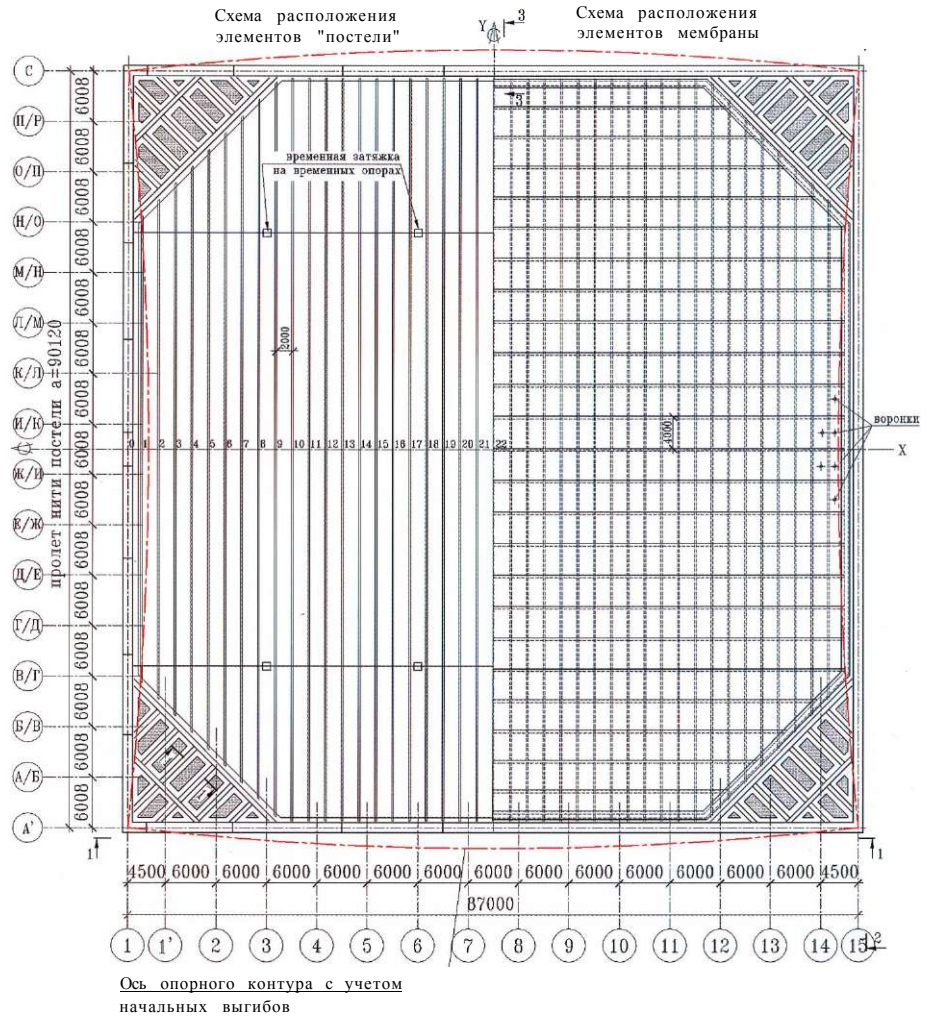


Рис. 4. Схема опорного контура с начальными выгибами

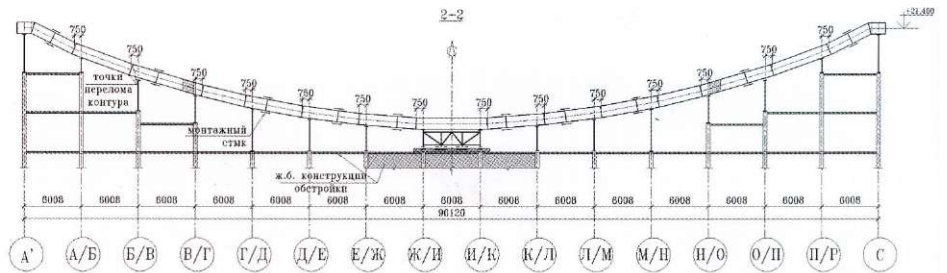
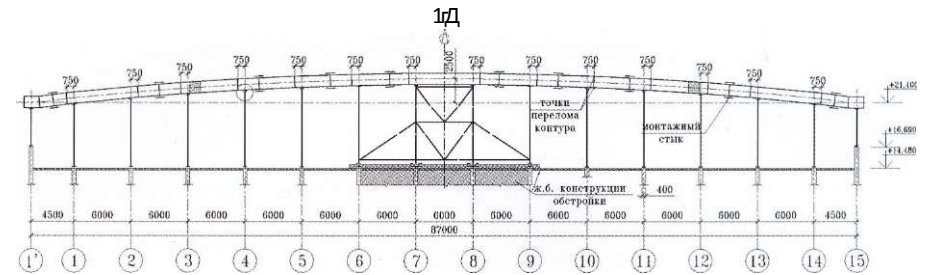


Рис. 5. Вспарушенная и провисающая стороны опорного контура

железобетонных колоннах. Все остальные колонны монтируются с обеспечением шарнирного опирания.

2. Монтируется на временных вертикальных опорах стальной опорный контур

с монтажными стыками на высокопрочных болтах по проектной геометрии с учетом заданных выгибов (рис. 5).

3. Монтируются все элементы угловых участков мембраны с обваркой стыков

и приварком листов заполнения между балками.

4. Монтируются временные затяжки на временных стойках.

5. Производится укладка арматуры внутри опорного контура.

6. Бетонируется опорный контур облочки.

7. Демонтируются временные связи колонн и вертикальные опоры контура.

8. После набора прочности бетона монтируются элементы «постели» с выверкой геометрии по их отметке в середине пролёта. Сразу после монтажа каждого элемента «постели» он раскрепляется временными поперечными распорками к соседним уже смонтированным элементам.

9. Раскладываются листы мембраны от центра к периферии (см. рис. 6). Производится регулирование формы опорного контура путём удлинения затяжки в регулировочном устройстве. Регулировка двух затяжек производится синхронно.

10. После полной раскладки листов мембраны производится их окончательная рихтовка и заварка листов мембраны между собой и с опорным контуром (см. рис. 7).

11. Производится плавный синхронный отпуск затяжек, последующий демонтаж затяжек и опор под них.

12. Демонтируются элементы «постели».

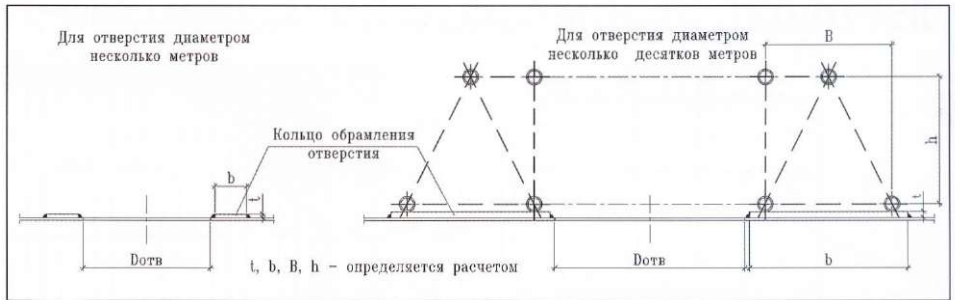


Рис. 8. Варианты обрамления отверстий

13. После устройства кровли выполняется обварка верхних узлов угловых колонн.

Такой порядок монтажа приводит к принципиальному изменению расчетной схемы сооружения в процессе его возведения:

- на монтаже (до заварки листов мембраны) - это висячая система параллельных висячих нитей, нагруженных собственным весом мембраны ( $40 \text{ кг/м}^2$ );

- после заварки листов мембраны - это сплошной лист, работающий в двухосном напряженном состоянии, нагруженный всеми постоянными и временными нагрузками.

Для учёта изменяющейся расчетной схемы в процессе возведения и геометрической нелинейности системы был применен программный комплекс «ЛИРА 9.2», в который входил расчетно-графический модуль «Монтаж-плюс»,

позволяющий выполнять компьютерное моделирование процесса возведения сооружения и включающий монтаж и демонтаж элементов, изменение условий их закрепления или сопряжения между собой на разных стадиях возведения. При этом производилось накопление усилий на всех стадиях.

В ходе прохождения экспертизы сторонней организации заказали дублирующий расчет. Он был выполнен на программном комплексе АВАС?115 и показал хорошее совпадение с расчетом авторов.

Кроме достоинств мембранных оболочек, перечисленных выше, важным является их высокая надежность за счёт присущего им максимально возможного показателя структурной живучести при воздействии внешних силовых факторов, а также дефектов изготовления, особенно в сравнении со стержневыми статически определимыми системами.

Проведенные авторами анализы и расчеты показали сохранение прочности и устойчивости оболочки при разрушении ее части, например прорези в мембране длиной в несколько метров или образования отверстия диаметром также до нескольких метров.

Значительно расширяет архитектурное разнообразие мембранных оболочек возможность устройства всевозможных световых фонарей в покрытии. На рис. 8 показаны варианты обрамления отверстий для таких фонарей.

Проблема живучести мембранных конструкций более подробно будет рассмотрена в следующих работах авторов.

#### Библиографический список:

1. Канчели Н.В. Седлообразная мембранная оболочка над ареной конькобежного стадиона в г. Коломне // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. №8. С. 66-67.
2. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. - М.: АСВ, 2003.



Рис. 6. Раскладка листов мембраны от центра к периферии



Рис. 7. Окончательная рихтовка и заварка листов мембраны между собой и с опорным контуром