

DOI: 10.34031/article_5ce292ca24bc23.91006970

^{1,*} Кужахметова Э.Р.

¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
Россия, 236016, Калининградская область, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14
*E-mail: elja_09@bk.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВАНТ В ЦИЛИНДРО-ПЛИТНО-ВАНТОВОМ (ЦПВ) ПОКРЫТИИ ЗДАНИЯ (СООРУЖЕНИЯ)

Аннотация. В статье рассмотрены расчетно-пространственные модели зданий с цилиндрично-плитно-вантовым (ЦПВ) покрытием на вертикальную нагрузку и различными конструктивными схемами расположения вант: радиальной, веерной, параллельно-поперечной, параллельно-продольной и продольно-поперечной (перекрестной). Расчеты выполнены с помощью программного комплекса (ПК) FEMAP with NX NASTRAN с учетом геометрической нелинейности деформирования. Новизной исследования является комбинированная конструкция ЦПВ покрытия, представляющая собой комплекс разных видов покрытий, перекрывающих большие пролеты зданий (сооружений): в срединной части расположена цилиндрическая оболочка нулевой гауссовой кривизны и плиты плоского покрытия, а по краям от них – симметричные вантовые покрытия. Цель исследования – оценить влияние вантовых систем с разными схемами расположения вант на общую картину напряженно-деформированного состояния (НДС) ЦПВ покрытия здания. Задача исследования заключается в вариантно-сравнительном анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) комплексной (комбинированной) конструкции ЦПВ покрытия и в выборе оптимального конструктивного решения вантовой системы при одинаковых условиях (геометрических параметрах всего здания, внешних нагрузках и граничных закреплениях). Результаты расчета зданий с разными схемами расположения вант на горизонтальную (ветровую) нагрузку с учетом определения аэродинамических коэффициентов будут опубликованы в следующей статье.

Ключевые слова: вант, гибкая нить, вантовое покрытие, комплексное (комбинированное) покрытие, цилиндрично-плитно-вантовое ЦПВ покрытие, полукольцо, наружный и внутренний опорный контур.

Введение. Широкое распространение вантовых конструкций обеспечивается возможностью применения современных высокопрочных материалов с относительно низким модулем упругости, характерным для стальных канатов одинарной и двойной свивки, которые, как правило, не используют в других несущих конструкциях. Поскольку вант работает только на растяжение, основным его достоинством является использование всей площади сечения стального каната, что, в случае выбора оптимальных характеристик, обеспечивает существенную экономию материала конструкции. При устройстве и монтаже вант не требуются леса и дополнительные подмости, что облегчает и упрощает возведение покрытия большепролетных зданий и сооружений, снижает экономические издержки. Однако повышенная деформативность вант вызывает существенное изменение их начальных геометрических параметров, что является недостатком вантовой конструкции [1]. Данную проблему можно решить на основании предварительного численного исследования, обеспечив требуемую жесткость, как самой вантовой системы, так и комплексной конструкции покрытия в целом. Предварительные расчетные исследования показали,

что геометрия вант оказывает существенное влияние на распределение их внутренних усилий, а также на величины реакций в опорных конструкциях [1] и на их перемещения [2, 3].

Основная часть. Цилиндрично-плитно-вантовое (ЦПВ) покрытие – это единая комплексная конструкция волнообразной формы. Срединную часть покрытия представляет цилиндрическая оболочка нулевой гауссовой кривизны опирающаяся на бортовые элементы (продольные балки и торцевые арки), а по краям (справа и слева) цилиндрической оболочки расположены вантовые покрытия, образующие отдельные блоки – помещения общественного здания (рис. 1). Объединяющим конструктивным элементом (КЭ) цилиндрической оболочки и вантовой системы является плита плоского покрытия, воспринимающая их усилия от постоянной и временной нагрузки [4–7].

Данный вид покрытия позволяет перекрывать большие пролеты зданий (сооружений) с минимальными затратами (издержками), создавая при этом неповторимый архитектурный образ всего здания (сооружения).

Для исследования НДС ЦПВ покрытия рассмотрим конструкцию общественного здания – спортивного комплекса [8, 9].

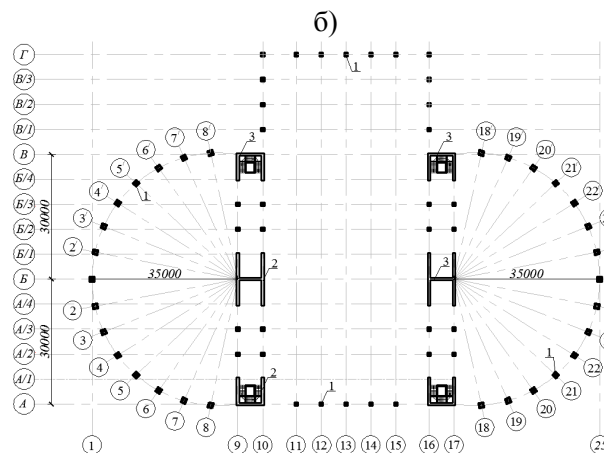
а)



Рис. 1. Общественное большепролетное здание с ЦВП покрытием:

а) общий вид; б) план здания

1 – колонна; 2 – продольная диафрагма; 3 – торцевая диафрагма



Объединяющим участком цилиндрической оболочки нулевой гауссовой кривизны и вантового покрытия является двухэтажное помещение с плоским покрытием. Железобетонные монолитные плиты покрытия и перекрытия толщиной 0,2 м опираются на колонны высотой $H_1=6$ м и продольно-поперечные диафрагмы в центральной части двухэтажного здания, а по краям - на систему элементов жесткости, состоящую из лестничных клеток и лифтовых шахт. Толщина диафрагм жесткости t , расположенных в торцах здания, а также в местах соединения вант, составляет 0,5 м, ширина $B=6$ м.

Пролет цилиндрической оболочки нулевой гауссовой кривизны принят $l_1=40$ м, длина $l_2=14 \times 6(\text{м})=84$ м, высота $h=4$ м, толщина монолитной цилиндрической оболочки $\delta=(1/200 \dots 1/300) l_2$ [10] (толщина принята $\delta=0,15$ м); радиус кривизны оболочки $R=52$ м. Бортовые конструктивные элементы (КЭ) цилиндрической оболочки выполнены в виде двух торцевых железобетонных арок и продольных балок прямоугольного сечения с размерами $b=0,5$ м $h=0,8$ м.

Вантовое покрытие образовано вантами и опорным наружным контуром в форме полукруга. На ванты укладываются железобетонные трапециевидные или квадратные плиты, которые крепятся к вантам с помощью арматурных выпусков [11]. Ванты оказываются в зазорах между железобетонными плитами. До заливки зазоров бетоном на расширяющемся цементе на плиты укладывается пригруз, вызывающий в вантах растягивающие усилия, близкие к расчетному сопротивлению их материала. Толщина железобетонных плит равна $t=0,05$ м [12]. Стрела провеса составляет $f=1/25L$, где L – пролет ванта, (м). Основной шаг вант $s_1=2$ м.

Наружный железобетонный опорный контур имеет форму немного вытянутого полукруга с радиусом R_r и представляет собой изогнутую балку.

Вдоль плиты плоского покрытия радиус составляет $R_1 = 30$ м (диаметр $D=60$ м), а поперек плиты – центральная часть опорного контура – $R_2=35$ м (см. рис. 1б). Сечение полукруга прямоугольное с высотой $h=0,8$ м и шириной $b=1,5$ м. Наружный опорный контур установлен на колонны разной высоты $H = 12-16$ м. Сопряжение наружного опорного полукольца с ядром жесткости каркасного двухэтажного помещения – жесткое.

Таким образом, каркас общественного здания (рис. 1) представляет собой ЦВП покрытие, опертое на железобетонные колонны, установленные по контуру здания и диафрагмы жесткости по торцам в зоне плоского покрытия. Сечение колонн – квадратное, с размерами $0,5 \times 0,5$ м, основной шаг колонн – 6 м. Высота колонн варьируется от 12 до 16 м.

Материал всех железобетонных конструкций - тяжелый бетон класса В25, с модулем упругости $E_b = 30 \cdot 10^3$ МПа (табл. 6.11 [13]). Значение модуля сдвига бетона принято равным $G_b = 0,4E_b = 0,4 \cdot 30 \cdot 10^3 = 12,0 \cdot 10^3$ МПа (п. 6.1.15 [13]). Коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$ (п. 6.1.17 [13]). Расчетное сопротивление бетона для предельного состояния первой группы (сжатие осевое) $R_b=14,5$ МПа (табл. 6.8 [13]).

Материал вант – стальной канат двойной свивки типа ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1.о.с, с модулем упругости $E=1,47 \times 10^5$ МПа (табл. Г.10 [14]) и коэффициентом поперечной деформации $\nu = 0,3$ (табл. Г.10 [14]). Сечение вант принято согласно ГОСТ 7668 $\varnothing 72$ мм с расчетной площадью сечения всех проволок $A=2008,28$ мм² и ориентировочной массой смазанного каната $m=19,80$ кг/м.

В расчетах учтены вертикальные нагрузки от железобетонных плит покрытий, состава кровли и снеговой нагрузки, рассчитанной по двум вариантам согласно СП [15] (рис.2).

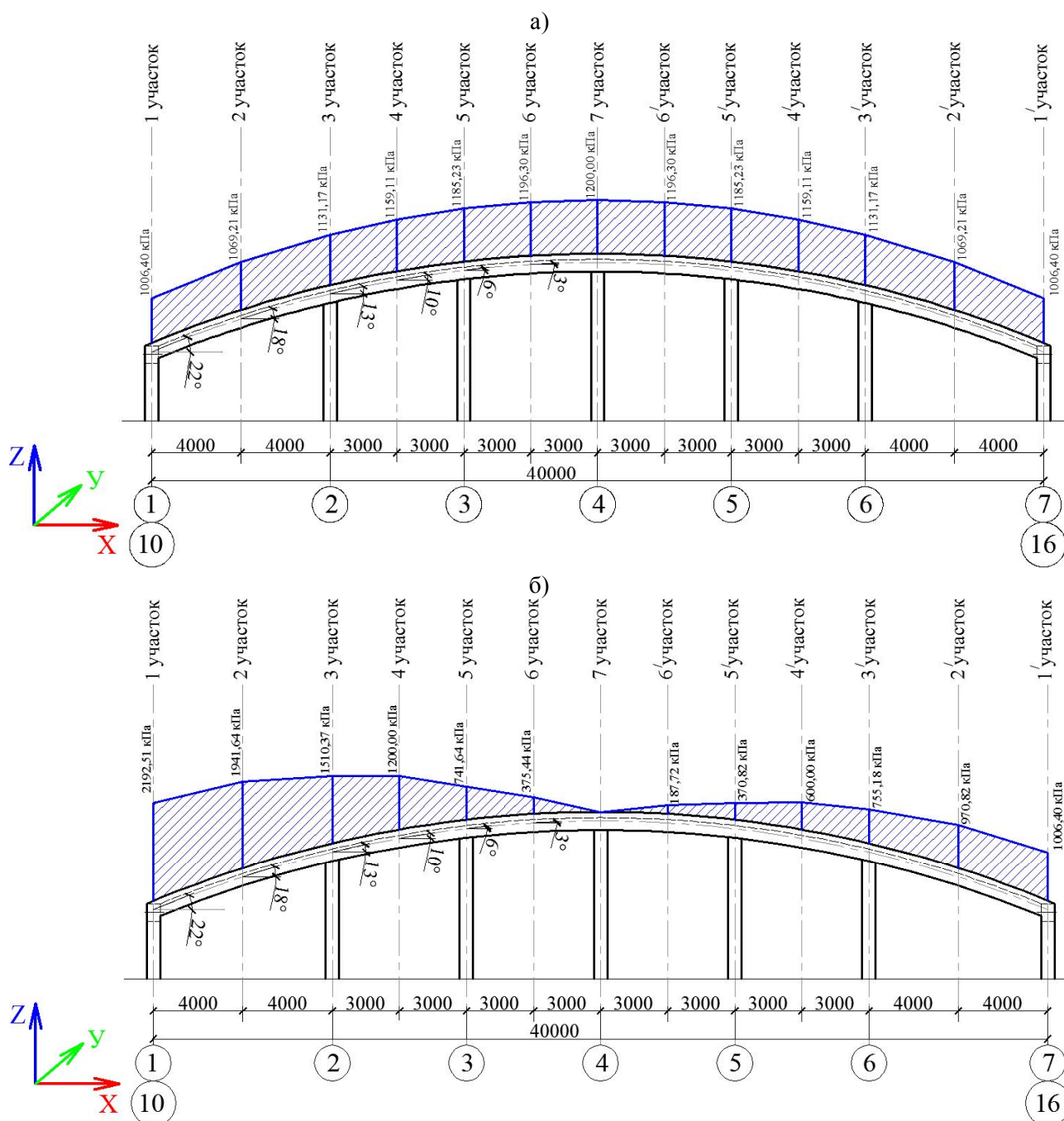


Рис. 2. Снеговая нагрузка (район - II) на цилиндрическое покрытие, рассчитанная по СП [15]:
а) вариант 1; б) вариант 2

В ходе исследования проанализированы следующие пространственно-расчетные модели ЦПВ покрытия с разными конструктивными схемами, загруженные вертикальными нагрузками (рис. 2):

1. Расчетная модель каркаса здания №1 – ЦПВ покрытие с радиальной вантовой схемой (рис. 3, 10);

2. Расчетная модель каркаса здания №2 – ЦПВ покрытие с веерной вантовой схемой (рис. 5, 11);

3. Расчетная модель каркаса здания №3 – ЦПВ покрытие с параллельно-поперечной вантовой схемой (рис. 6, 12);

4. Расчетная модель каркаса здания №4 – ЦПВ покрытие с параллельно-продольной вантовой схемой (рис. 7, 13);

5. Расчетная модель каркаса здания №5 – ЦПВ покрытие с продольно-поперечной (перекрестной) вантовой схемой (рис. 9, 14).

Радиальная схема вантовой системы (рис. 3а) представляет собой комплекс вант, соединенных в пучок и сконцентрированных в центральной части цилиндрического покрытия. Одним концом ванты крепятся к металлическим петлям (рис. 4), установленные с равномерным основным шагом $s_1=2\text{м}$ вдоль наружного железобетонного опорного контура, имеющего форму

немного вытянутого полукруга с радиусом $R = 35-30$ м (рис. 1б). Другим концом ванта крепятся с шагом s_2 к внутреннему металлическому опорному полукольцу радиусом $r=0,5$ м, представляющий металлическую пластину толщиной $t = 0,2$ м и шириной $b^{BH}=0,8$ м.

Материал внутреннего полукольца – сталь марки С245 по ГОСТ 27772, с расчетным сопротивлением $R=350$ МПа (табл. В.5 [14]), модулем продольной упругости $E=2,1 \times 10^5$ МПа (табл. Г.10 [14]) и коэффициентом поперечной деформации $\nu = 0,3$ (табл. Г.10 [14]), коэффициентом линейного расширения $\alpha=0,12 \cdot 10^{-4}$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Внутреннее металлическое опорное полукольцо жестко заделано в плиту плоского покрытия, концы которого соединены с армированием плиты и забетонированы. Длина заделки концов опорного полукольца определяется расчетам согласно нормативным документам.

На отдельные ванта приложена вертикальная нагрузка в виде трапеции [2, 3]. Ее величина пропорционально уменьшается от наружного опорного контура $R=35-30$ м к внутренней опоре

$r=0,5$ м вследствие уменьшения шага вант по внутреннему радиусу. Ванта максимально деформируются ближе к наружному полукругу и в срединной его части вантового покрытия (рис. 3а). Это объясняется тем, что:

- ❖ концы наружного опорного контура жестко закреплены в углах продольно-торцевой диафрагмы (ядра жесткости) плоского покрытия;

- ❖ длина вант, расположенных по наружному радиусу R_i опоры, зависит от пролета L и стрелы провеса $f=1/25L$, где $L=R_i$ – радиус полукруга. Максимальный наружный радиус равен $R_2=35$ м (центр полукруга). Ближе к плоскому покрытию наружный радиус R_i уменьшается до 30 м, следовательно, уменьшается и длина вант.

На рисунке 3б представлена деформированная модель наружного опорного контура с колоннами. Его расчетное перемещение по осям «х» и «у» составило 0,0061м. В плане деформация наружного контура повторяет первоначальную форму полукруга ($R_i=30-35$ м), что является следствием пошагового расположения вант и равномерного их нагружения.

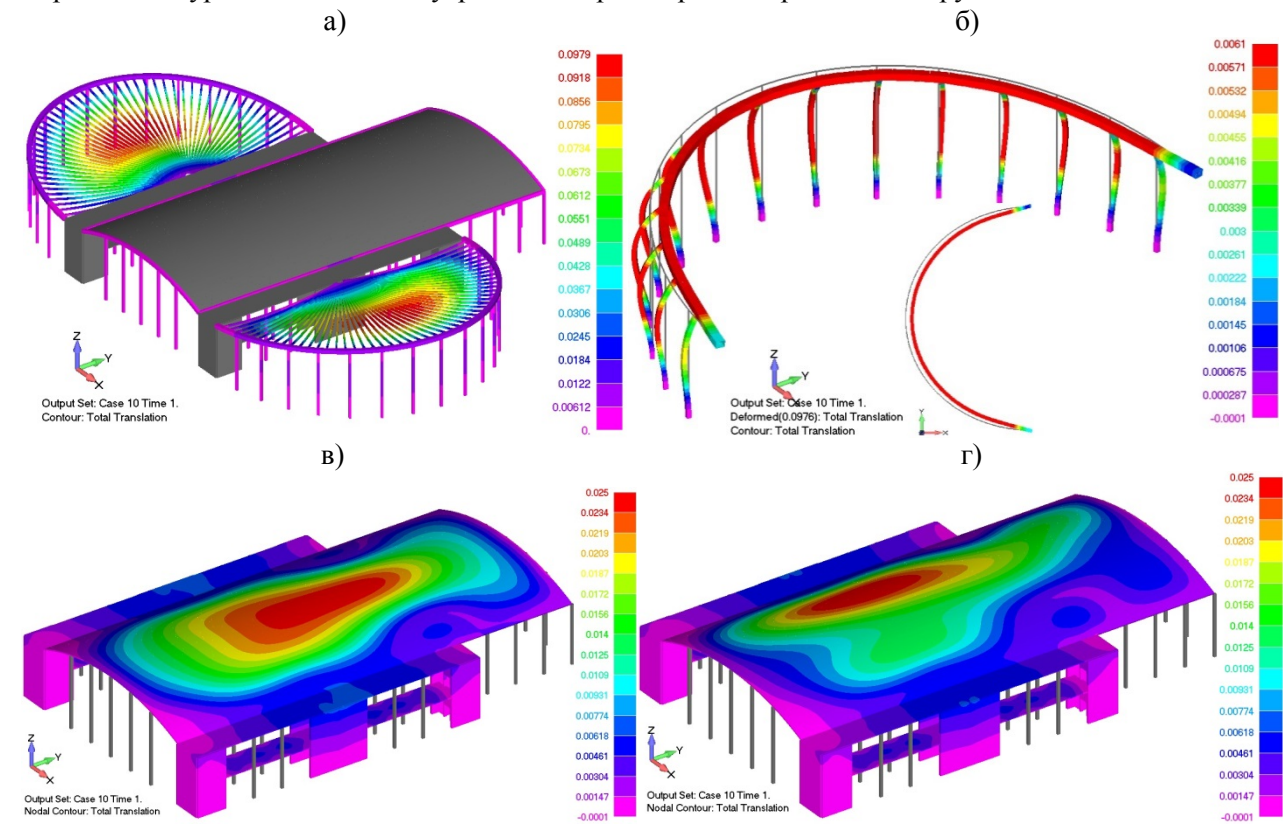


Рис. 3. Модель №1. Перемещения конструкций ЦПВ покрытия с радиальной схемой:
 а) вантового покрытия (максимальный прогиб вант $\Delta_1^{\max} = 0,0979$ м);
 б) наружного опорного полукруга ($\Delta_1^{\max} = 0,0061$ м); в) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 1 вар. ($\Delta_1^{\max} = 0,025$ м);
 г) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 2 вар. ($\Delta_1^{\max} = 0,025$ м)

Постоянная нагрузка на цилиндрико-плитное покрытие включает следующие компоненты: от собственного веса железобетонного цилиндрико-

плитного покрытия, состава кровли и временной снеговой нагрузки, посчитанной согласно СП [15] (рис. 2а). На рисунках 3в) и 3г) показаны

максимальные прогибы ($\Delta_1^{\max} = 0,025$ м) покрытия от постоянной и снеговой нагрузки (варианты 1 и 2).

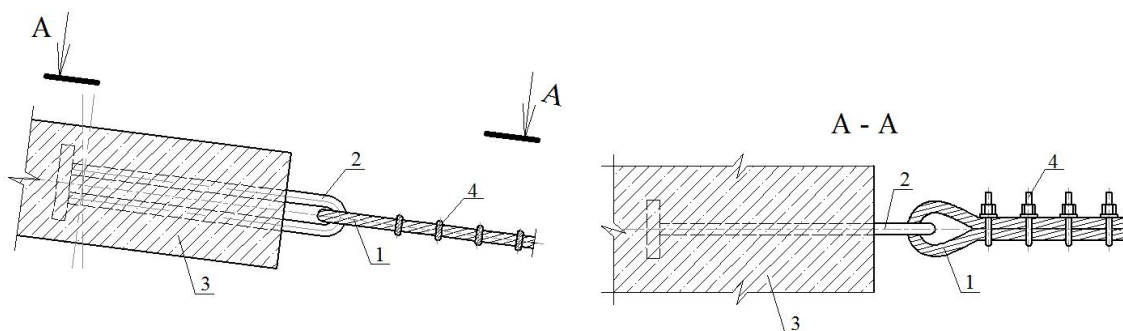


Рис. 4. Крепление вант к наружному опорному контуру вантового покрытия с помощью закладной детали «петля»: 1 – вант (стальной трос); 2 – закладная деталь (ЗД) в виде петли; 3 – наружный железобетонный опорный контур; 4 – хомут

При **верной** схеме (рис. 5а) ванты равномерно расположены по наружному контуру с основным шагом $s_1=2$ м, а вдоль плоского покрытия – с малым шагом s_3 . Шарнирное соединение вант выполнено с помощью металлических закладных деталей (ЗД) в виде «петли» (рис. 4), концы которых заанкерены в монолитную железобетонную наружную опору и плиту плоского покрытия.

Нагрузка на отдельный вант приложена в виде трапеции [2, 3]. Величина, которой зависит от шага вант $s_2 > s_i > s_3$, изменяющийся по ее длине.

Перемещение наружного опорного полукруга представлено на рис. 5б. Деформированная схема полукруга после растяжения вант стала походить на букву «С». Деформация наружного опорного полукруга по оси «х» вызвана нагруженностью длинных вант в срединной части (см. рис. 5а) и составила $\Delta_x=0,03$ м. Ванты, расположенные ближе к краям полукруга, имеют меньшую длину и соответственно меньший вес. Отсюда, прогиб от вышележащей нагрузки по оси «у» равен $\Delta_y=0,02$ м.

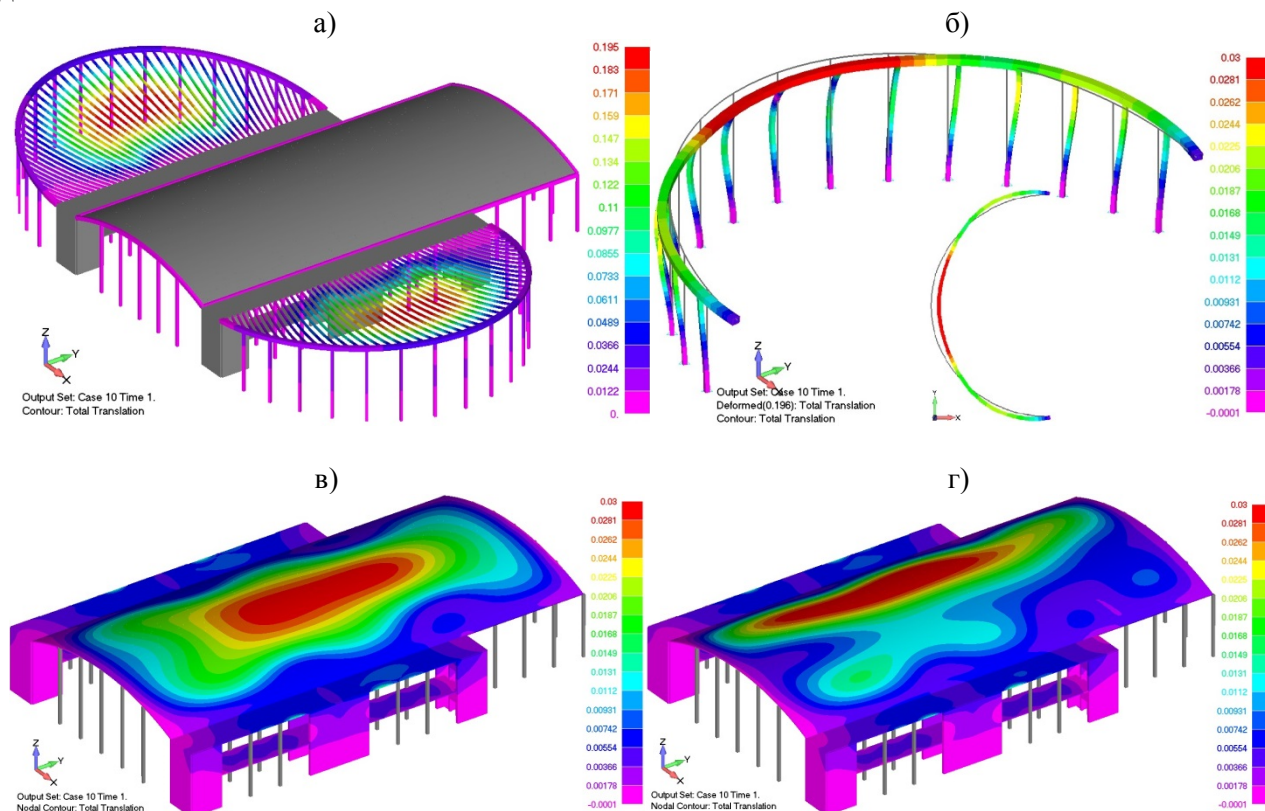


Рис. 5. Модель №2. Перемещения конструкций ЦПВ покрытия с верной схемой: а) вантового покрытия (максимальный прогиб вант $\Delta_2^{\max} = 0,195$ м); б) наружного опорного полукруга ($\Delta_2^{\max} = 0,03$ м); в) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 1 вар. ($\Delta_2^{\max} = 0,030$ м); г) цилиндро-плитное покрытия с учетом снеговой нагрузки по 2 вар. ($\Delta_2^{\max} = 0,030$ м)

Прогиб цилиндрической оболочки от снеговой нагрузки, рассчитанной по варианту 1 представлен на рис. 5в, а по варианту 2 – на рисунке 5г. Как и при радиальной схеме вантового покрытия (см. рис. 3в) максимальный прогиб ($\Delta=0,03$ м) находится в зоне цилиндро-плитного покрытия. Однако за счет верного расположения вант и максимального их перемещения область максимального прогиба цилиндро-плитного покрытия значительно увеличена.

Параллельно-поперечная схема вантового покрытия представляет собой параллельное расположение вант перпендикулярно к плоскому покрытию (рис. 6а). Основной шаг вдоль плоского покрытия равен $s_1=2$ м. Соответственно

геометрические параметры вант (длина S и стрела провеса f) изменяются от центра полуокруга к краевым его участкам.

На ванты приложена равномерно – распределенная нагрузка $q = 8550$ Н/м [2, 3], поскольку основной шаг $s_1=2$ м по всей длине вант постоянный. На рисунке 6а показано перемещение Δ вант, максимальное значение, которого составило 0,297 м.

Прогиб вант под вертикальной (поперечной) нагрузкой приводит к сжатию наружного опорного полуокруга. Параллельно-поперечное расположение и разная длина вант одинаково влияют на деформацию полуокруга ($\Delta=0,053$ м) в плане по осям «х» и «у» от первоначальной ее формы (рис. 5б).

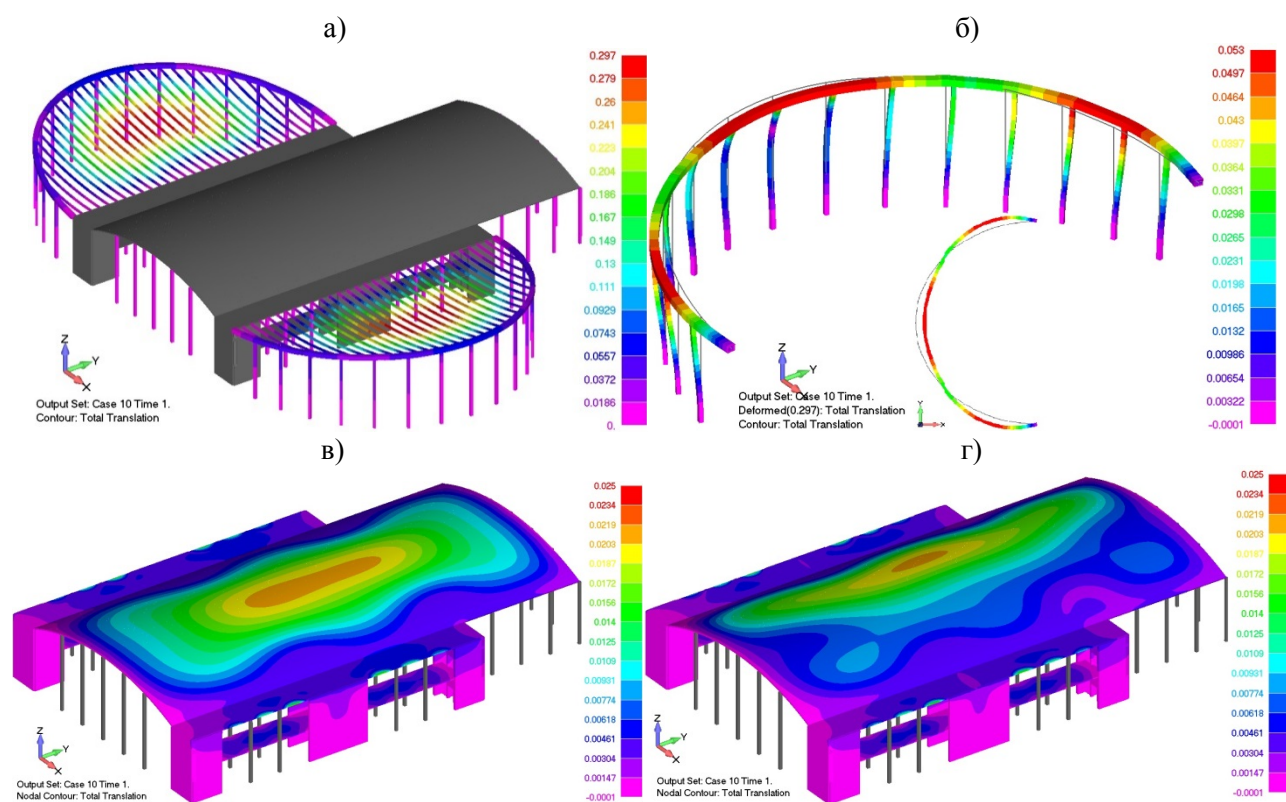


Рис. 6. Модель №3. Перемещения конструкций ЦПВ покрытия с параллельно – поперечной схемой: а) вантового покрытия (максимальный прогиб вант $\Delta_3^{\max}=0,297$ м); б) наружного опорного полукольца ($\Delta_3^{\max}=0,053$ м); в) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 1 вар. ($\Delta_3^{\max}=0,020$ м); г) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 2 вар. ($\Delta_3^{\max}=0,020$ м)

Прогибы цилиндрической оболочки от снеговой нагрузки, рассчитанной по вариантам 1 и 2 представлены соответственно на рисунках 6в и 6г. Для параллельно-поперечной схемы вант максимальный прогиб цилиндро-плитного покрытия составил $\Delta=0,020$ м. В отличие от предыдущих схем вантовой системы зона максимального прогиба минимальна и имеет равномерно-распределенную область.

При **параллельно – продольной** схеме висячего покрытия ванты расположены вдоль

цилиндрического покрытия, т.е. как хорды, разбивают полуокруг на отрезки. Расстояние между соседними вантами $s_1=2$ м (рис. 7а). Несмотря на большую длину крайних вант (около плоского покрытия) и стрелу провеса f перемещение их составило $\Delta=0,4$ м, а в срединной части, где длина вант меньше, прогиб равен $\Delta=1,671$ м. Таким образом, из-за жесткого соединения наружного опорного полуокруга с плитой плоского покрытия длинные ванты подвержены меньшему деформированию.

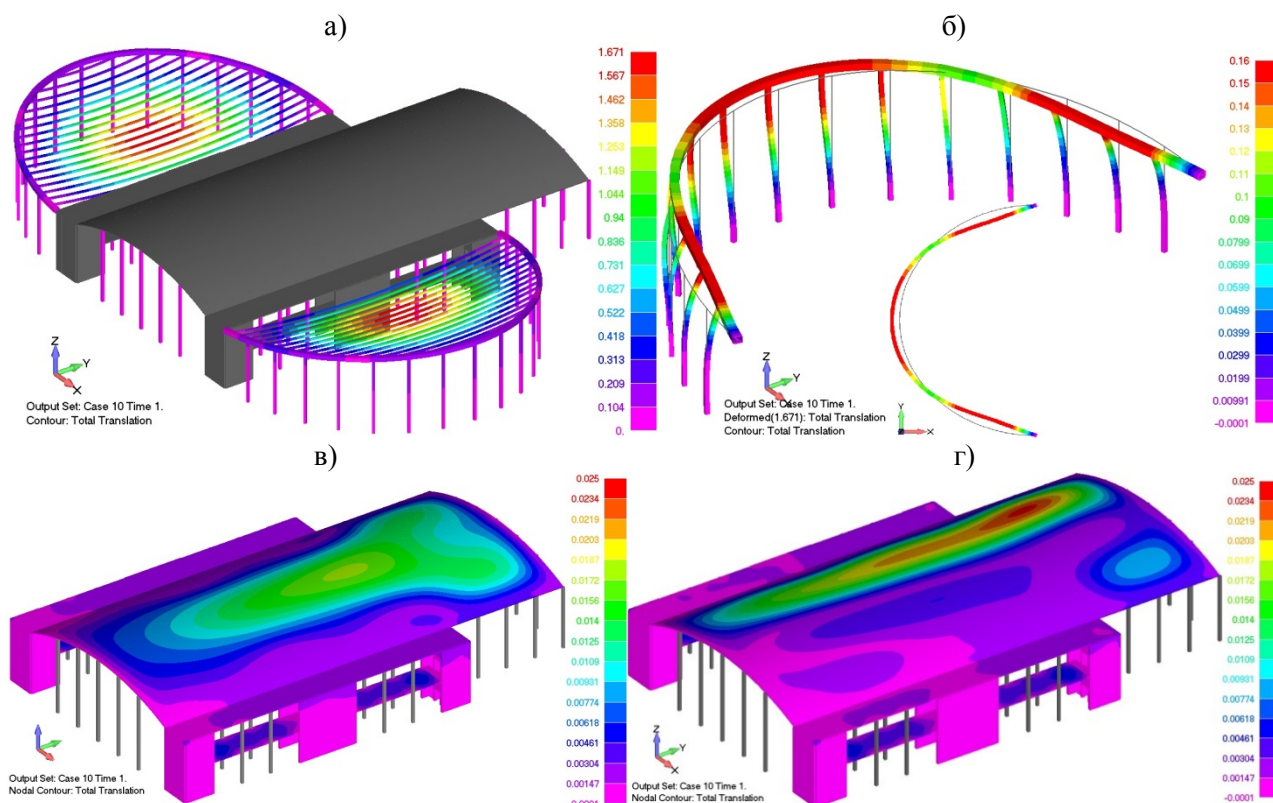


Рис. 7. Модель №4. Перемещения конструкций ЦПВ покрытия с параллельно – продольной схемой: а) вантового покрытия (максимальный прогиб вант $\Delta_4^{\max} = 1,671$ м); б) наружного опорного полукольца ($\Delta_4^{\max} = 0,16$ м); в) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 1 вар. ($\Delta_4^{\max} = 0,015$ м); г) цилиндро-плитное покрытия оболочки с учетом снеговой нагрузки по 2 вар. ($\Delta_4^{\max} = 0,023$ м)

Наружный опорный контур в форме полу-круга перемещается по осям «x» и «y» с одинаковым значением $\Delta = 0,16$ м (рис. 7б). Деформированная схема полу-круга в плане похожа на полу-эллипс. Самые длинные и, соответственно, самые нагруженные ванты, находящиеся ближе к краям полу-круга (около плоского покрытия), сжимают опорный контур. А ванты меньшей длины в срединной части из-за меньшего сопротивления деформируются за пределы первоначальной формы полу-круга.

Как видим, прогиб цилиндро-плитного покрытия зависит от действующих на нее вертикальных нагрузок: собственного веса железобетонного цилиндро-плитного покрытия, состава кровли, снеговой нагрузки (рис. 2). Параллельно-

продольное расположение вант не влияет на деформационную схему цилиндро-плитного покрытия, в сравнении с вышеуказанными схемами вантовой системы. Максимальный прогиб цилиндрической оболочки составил $\Delta = 0,015$ м (рис. 7в).

Максимальный прогиб цилиндрической оболочки, посчитанной с учетом снеговой нагрузки по варианту 2, показан на рисунке 2б.

Комбинация поперечно-продольной (перекрестная) схемы представляет собой ванты в продольном и поперечном направлениях, соединенные двойными хомутами (рис. 8), образуя между собой точечную связку с равномерным шагом $s_1 = 2$ м по всей длине ванта.

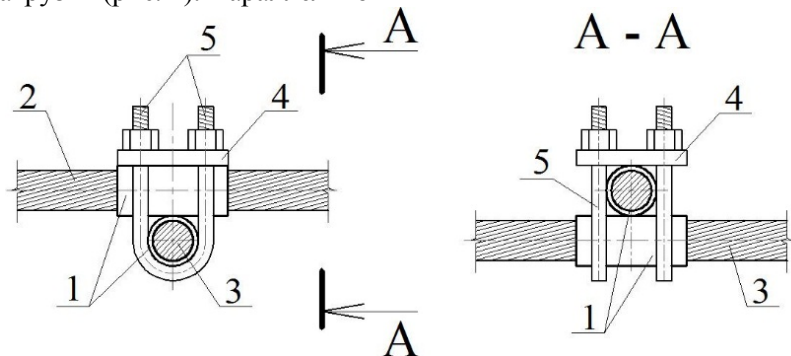


Рис. 8. Узел пересечения вант на двойных хомутах

1 – кожух из оцинкованной стали или капрона; 2 – вант в продольном направлении; 3 – вант в поперечном направлении; 4 – металлическая пластина; 5 – хомуты (стяжные болты)

Перекрестная (продольно-поперечная) схема вант позволяет равномерно распределять нагрузки на ванты от вышележащих конструкций таким образом, что перемещения и расчетные усилия в вантах, наружном опорном контуре в

форме полукруга $R=30-35$ м (центр $R=35$ м) и в цилиндрической оболочке оказываются незначительными, по сравнению с другими схемами (см. рис. 3-7)

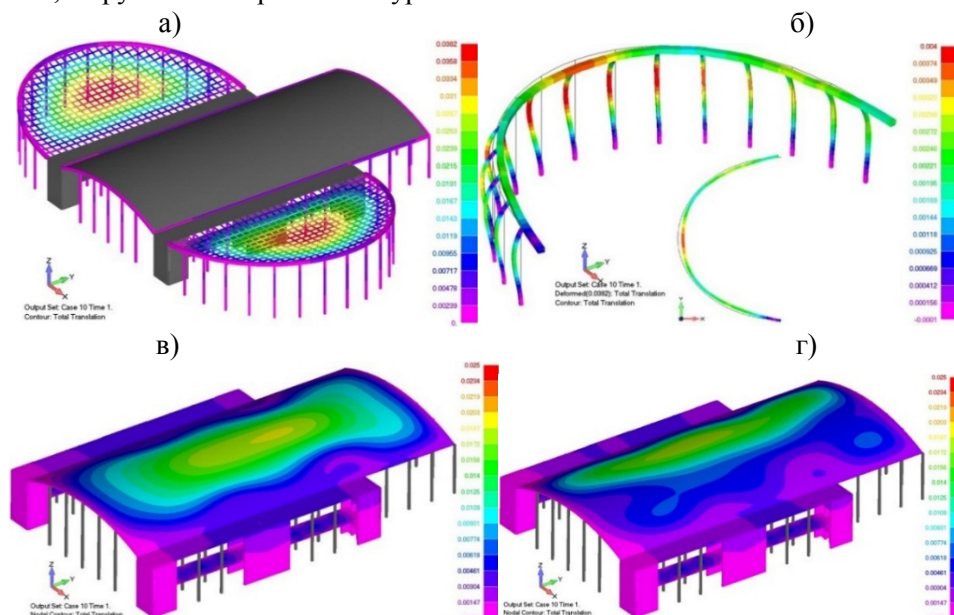


Рис. 9. Модель №5. Перемещения конструкций ЦПВ покрытия с перекрестной схемой:

- а) вантового покрытия (максимальный прогиб вант $\Delta_5^{\max}=0,0727$ м); б) наружного опорного полукольца ($\Delta_5^{\max}=0,008$ м); в) цилиндро-плитного покрытия с учетом снеговой нагрузки по 1 вар. ($\Delta_5^{\max}=0,020$ м); г) цилиндро-плитное покрытия с учетом снеговой нагрузки по 2 вар. ($\Delta_5^{\max}=0,020$ м)

Выбор данной схемы позволяет уменьшить сечения в комбинированной системе ЦПВ покрытия или отдельных конструктивных элементов (КЭ), а также изменить материалы, например, уменьшить класс бетона или стали. Данный фактор является экономически эффективным показателем для проектирования и строительства зданий (сооружений). Судя по результатам расчета, продольно-поперечная схема вантовой системы обладает повышенной жесткостью, ведь ванты в

продольном и поперечном направлении соединены между собой в перекрестную систему с помощью крепежных элементов (рис. 8). Отсюда совместная работа вант в продольно-поперечном направлении незначительно влияет на деформацию цилиндрического покрытия (рис. 9в).

Результаты расчетов большепролетного здания ЦПВ покрытия с разными конструктивными схемами приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов ЦПВ покрытия

№ п/п	Наименование расчетных моделей	Максимальные перемещения Δ , (м) конструктивных элементов (КЭ) ЦПВ покрытия:			
		Вантовой системы	Цилиндрической оболочки	Наружного опорного контура:	
				По оси «х»	По оси «у»
1.	ЦПВ покрытие с радиальной вантовой схемой	0,0979	0,025	0,006	0,006
2.	ЦПВ покрытие с веерной вантовой схемой	0,1960	0,025	0,030	0,020
3.	ЦПВ покрытие с параллельно-поперечной вантовой схемой	0,2970	0,020	0,053	0,053
4.	ЦПВ покрытие с параллельно-продольной вантовой схемой	1,6710	0,015	0,160	0,160
5.	ЦПВ покрытие с продольно-поперечной (перекрестной) вантовой схемой	0,0382	0,017	0,004	0,002

Проведен сравнительный анализ напряженного состояния для вантового покрытия с разными схемами расположением вант. Более наглядно представлены продольные усилия N (Н)

для вантового покрытия, а, именно, для вант и наружного опорного контура от вертикальной нагрузки (см. рис. 10-14).

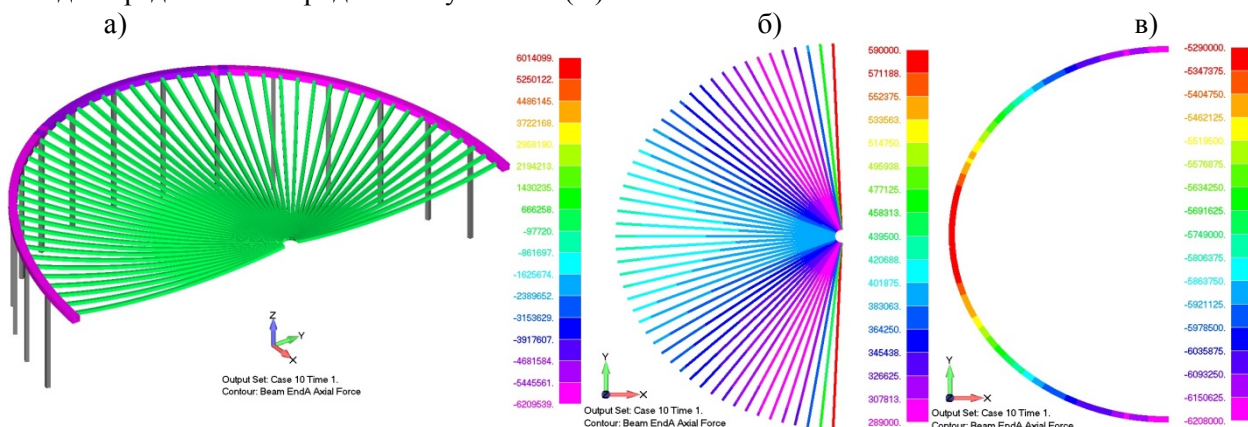


Рис. 10. Модель № 1. Продольные усилия N (Н):
 а) модель вантового покрытия; б) ванты с радиальной схемой; в) наружный опорный контур

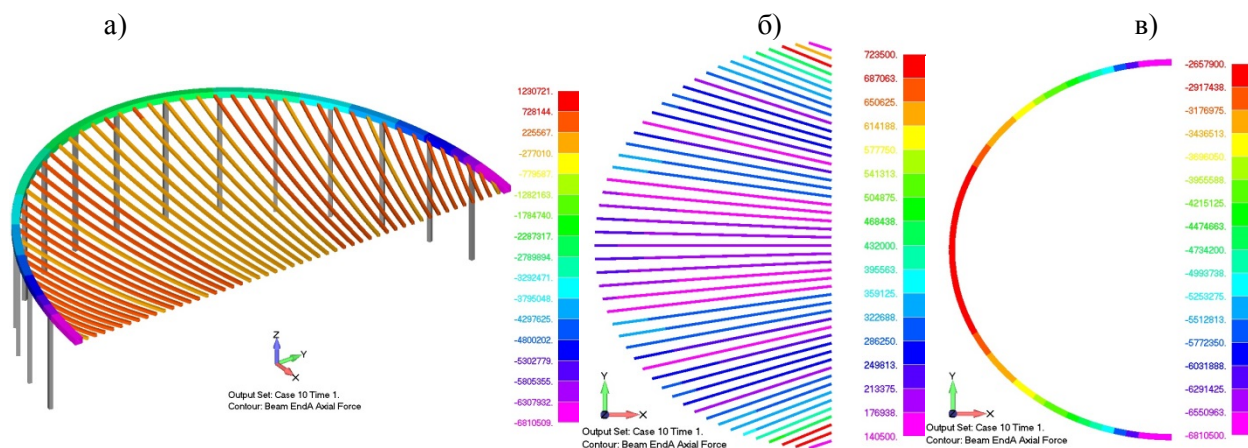


Рис. 11. Модель № 2. Продольные усилия N (Н):
 а) модель вантового покрытия; б) ванты с вверной схемой; в) наружный опорный контур

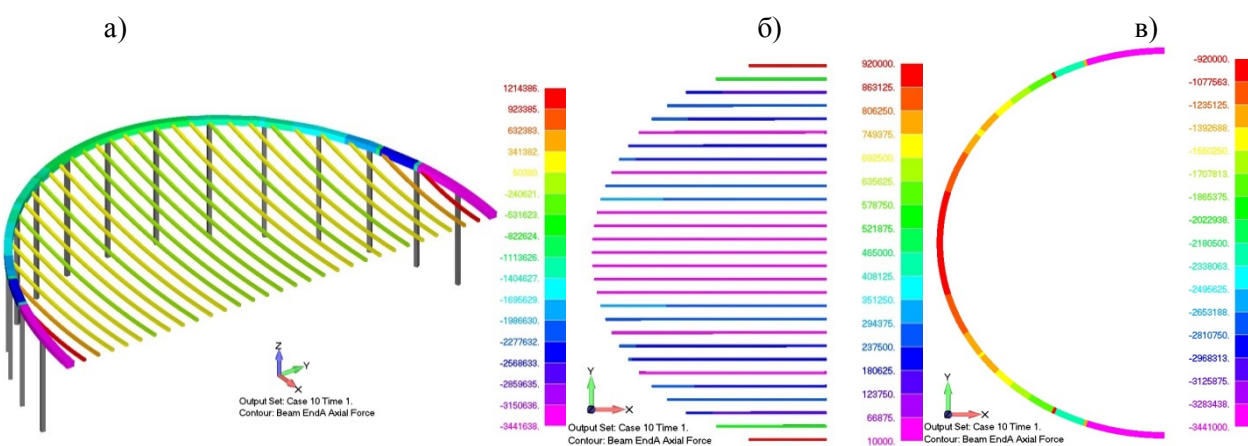


Рис. 12. Модель № 3. Продольные усилия N (Н):
 а) модель вантового покрытия; б) ванты с параллельно – поперечной схемой; в) наружный опорный контур

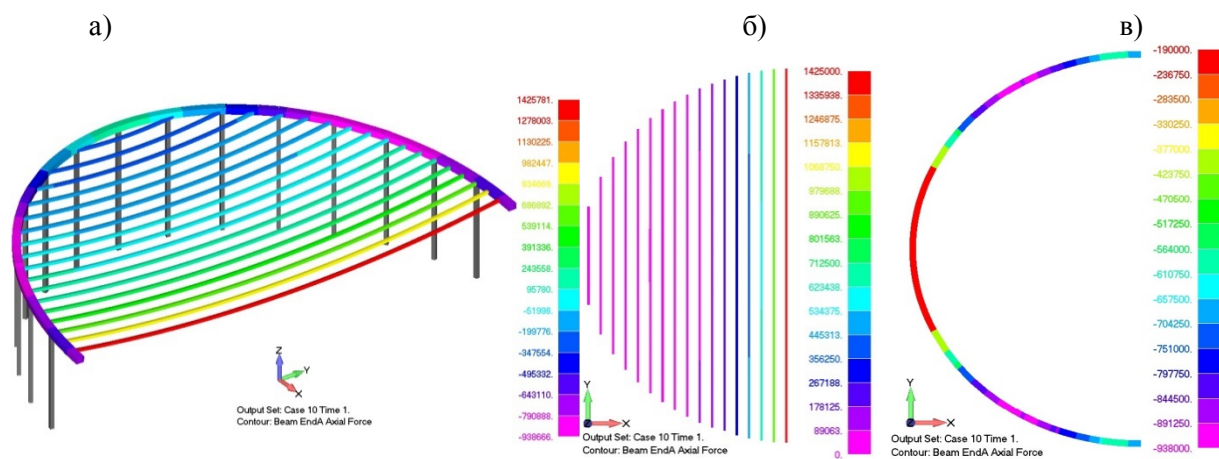


Рис. 13. Модель № 4. Продольные усилия N (Н):

а) модель вантового покрытия; б) ванты с параллельно – продольной схемой; в) наружный опорный контур

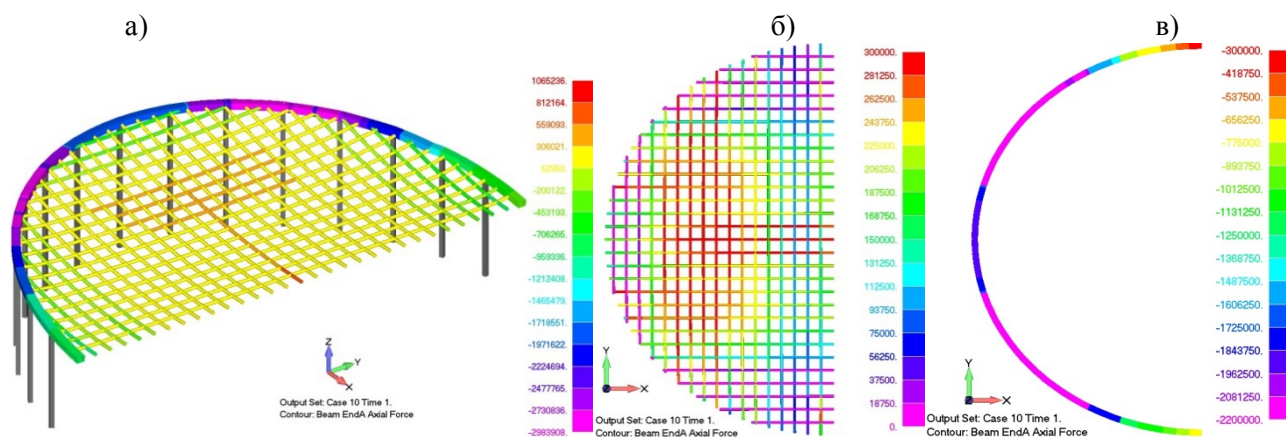


Рис. 14. Модель № 5. Продольные усилия N (Н):

а) модель вантового покрытия; б) ванты с продольно-поперечной схемой; в) наружный опорный контур

Результаты расчетов вантового покрытия с продольными усилиями вант и наружного опорного контура приведены в таблице №2.

Заключение. Сопоставительный анализ эффективности различных вантовых схем комплексного ЦПВ покрытия показал, что расположения вант значительно влияют на деформированную схему наружного опорного контура в форме полукруга и цилиндрического покрытия:

1. При радиальной и продольно-поперечной (смешанной) схемах расположения вант деформированная схема полукруга практически повторяет свою первоначальную форму из-за равномерно-расположенных и равномерно-нагруженных вант (рис. 3б, 9б).

2. Очертание деформированной наружной опоры при схемах висячего покрытия: веерной, параллельно – поперечной и параллельно-продольной напоминает букву «С» или полуэллипс из-за максимальных перемещений длинных вант

в срединной части висячего покрытия и малой сопротивляемости коротких вант (рис. 5б-7б).

3. Большое и практически похожее влияние на НДС цилиндрического покрытия оказывают радиальная и веерная схемы. Среднее влияние - параллельно-поперечная и продольно-поперечная (смешанная) схемы. При параллельно-продольном расположении вант НДС цилиндрического покрытия существенно зависит от вышележащих вертикальных нагрузок (см. рис. 7в), поскольку шарнирное крепление вант выполнено только по контуру наружного полукольца (рис. 7а).

4. Согласно результатам расчетов (см. табл. 1, 2), продольно-поперечная (перекрестная) схема №5 обеспечивает существенно меньшие, в сравнении с другими рассмотренными схемами, перемещения и усилия в ЦПВ покрытия при одинаковых геометрических параметрах конструкции здания, его внешних нагрузках и граничных закреплениях конструктивных элементов.

Таблица 2

Результаты расчетов вантового покрытия

№ п/п	Наименование расчетных моделей	Максимальные продольные усилия N , (Н) конструктивных элементов (КЭ):	
		Вант	Наружного опорного контура:
1.	ЦПВ покрытие с радиальной вантовой схемой	+ 590 000	- 6 200 800
2.	ЦПВ покрытие с всерной вантовой схемой	+ 723 500	- 6 810 500
3.	ЦПВ покрытие с параллельно-поперечной вантовой схемой	+ 920 000	- 3 441 000
4.	ЦПВ покрытие с параллельно-продольной вантовой схемой	+ 1 425 000	- 938 000
5.	ЦПВ покрытие с продольно-поперечной (перекрестной) вантовой схемой	+ 300 000	-2 200 000

Примечания:
1. Знаком « + » обозначены растягивающие усилия.
2. Знаком « - » обозначены сжимающие усилия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кужахметова Э.Р. Сравнительный анализ работы вант с разной геометрической характеристикой при вертикальном нагружении // Известия Калининградского государственного технического университета. 2017. №45. С. 235–244.

2. Кужахметова Э.Р. Деформация вант при различных условиях нагружения // Балтийский морской форум: материалы VI Международного Балтийского морского форума 2018 года: «Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве»: IV Международная конференция, (Калининград, 3-6 сентября 2018). Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. Т. 6. С.129–140.

3. Кужахметова Э.Р. Деформация вант при различных условиях нагружения // Известия Калининградского государственного технического университета. 2019. №52. С. 154–168.

4. Кужахметова Э.Р. Методика прочностного расчета комбинированной цилиндрично-плитовантовой конструкции покрытия большепролетного здания // Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава АГТУ (57 ППС). Астрахань, 2013.

5. Кужахметова Э.Р. Определение прочности, устойчивости и колебаний здания с комплексным цилиндрично-плитовантовым покрытием // Международная научная конференция научно-педагогических работников АГТУ (58 НПР). Астрахань, 2014.

6. Кужахметова Э.Р. Конструирование и расчет цилиндрично-плитовантового покрытия // Международная научная конференция научно-педагогических работников АГТУ (59 НПР). Астрахань, 2015.

7. Кужахметова Э.Р. Особенности напряженно-деформированного состояния здания с цилиндрично-плитовантовым покрытием // Вестник науки. Сборник статей по материалам XII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки». Томск, 2018. С. 93–98.

8. Кужахметова Э.Р., Сапожников А.И. Архитектурная выразительность и физиологическая целесообразность зданий с криволинейными поверхностями // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. №11 (166). С. 42–45.

9. Сапожников А.И. Жизнь зданий в земной стихии. Германия: LAP LAMBER Academic Publishing, 2014. 60 с.

10. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: общий курс. Учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991. 767 с.

11. Кужахметова Э.Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №.2. С. 39–48.

12. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции: Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1983. 215 с.

13. СП 63.13330.2011. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 52-01-2003 с изм. №1. М., 2011.

14. СП 16.13330.2011. Свод правил Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М., 2011.

15. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М., 2016.

Информация об авторах

Кужахметова Эльвира Рафаэльевна, аспирант кафедры машиноведения и технических систем. Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта. Email: elja_09@bk.ru. Россия, 236016, Калининградская область, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14.

Поступила в феврале 2019 г.

© Кужахметова Э.Р., 2019

^{1,*}**Kuzhakhmetova E.R.**

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University;*

Russia, 236016, Kaliningrad region, Kaliningrad, ul. Alexander Nevsky, 14

**E-mail: elja_09@bk.ru*

CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF GUYS LOCATION IN CYLINDRICAL-SLAB-GUY COVERING OF BUILDING (CONSTRUCTION)

Abstract. *The article discusses the design and spatial models of buildings with a cylinder-slab-cable-stayed coating and various design schemes for the location of the cables: radial, fan-shaped, parallel-transverse, parallel-longitudinal and longitudinal-transverse (cross). The calculations were performed using the software package FEMAP with NX NASTRAN, taking into account the geometric nonlinearity of deformation. The novelty of the research is the combined design of the CPV coating, which is a complex of different types of coatings spanning large spans of buildings (structures): in the middle part there is a cylindrical shell of zero Gaussian curvature and a flat coating plate, and symmetrical cable-stayed coatings at the edges. The purpose of the study is to assess the effect of cable-stayed systems with different cable layouts on the overall picture of the stress-strain state of the CPV of the building. The task of the study is to alternatively - a comparative analysis of the stress-strain state of the complex (combined) design of the CPV coating and to select the optimal structural solution of the cable system under the same conditions (geometric parameters of the whole building, external loads and boundary fixings). The results of the calculation of buildings with different schemes of arrangement of cables for horizontal (wind) load, taking into account the definition of aerodynamic coefficients, will be published in the next article.*

Keywords: *cable, flexible thread, cable-stayed coating, complex (combined) coating, cylinder-slab-guyed coating, half ring, outer and inner bearing contour*

REFERENCES

1. Kuzhakhmetova E.R. Comparative analysis of the work of the guys with different geometric characteristics under vertical loading [*Sravnitel'nyj analiz raboty vant s raznoj geometricheskoj harakteristikoj pri vertikal'nom nagruzhении*]. News of Kaliningrad State Technical University. 2017. No. 45. Pp. 235–244. (rus)
2. Kuzhakhmetova E. R. Deformation of guys under different loading conditions [*Deformaciya vant pri razlichnyh usloviyah nagruzheniya*]. Baltijskij morskij forum: materialy VI Mezhdunarodnogo Baltijskogo morskogo foruma 2018 goda: «Progressivnye tekhnologii, mashiny i mekhanizmy v mashinostroenii i stroitel'stve»: IV Mezhdunarodnaya konferenciya, (Kaliningrad, 3-6 sentyabrya 2018). Kaliningrad: Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2018, Vol. 6. Pp. 129–140. (rus)
3. Kuzhakhmetova E.R. Deformation of guys under different loading conditions [*Deformaciya vant pri razlichnyh usloviyah nagruzheniya*]. News of Kaliningrad State Technical University. 2019. No. 52. Pp. 154–168. (rus)
4. Kuzhakhmetova E.R. Methodology for the strength calculation of the combined cylinder-slab-cable construction of a large-span building covering [*Metodika prochnostnogo rascheta kombinirovannoj cilindro-plito-vantovoj konstrukcii pokrytiya bol'sheproletnogo zdaniya*]. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava AGTU (57 PPS). Astrahan', 2013.2013. (rus)
5. Kuzhakhmetova E.R. Determination of strength, stability and vibrations of a building with a complex cylinder-slab-guyed floor [*Opredelenie prochnosti, ustojchivosti i kolebanij zdaniya s kompleksnym cilindro-plito-vantovym pokrytiem*]. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov AGTU (58 NPR). Astrahan', 2014. (rus)
6. Kuzhakhmetova E.R. Designing and calculating a cylinder-slab-guyed coating [*Konstruirovaniye i raschet cilindro-plito-vantovogo pokrytiya*]. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov AGTU (59 NPR). Astrahan', 2015. (rus)
7. Kuzhakhmetova E.R. Features of the stress-strain state of a building with a cylinder-slab-guyed

floor [Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zdaniya s cilindro-plito-vantovym pokrytiem]. Vestnik nauki. Sbornik statej po materialam XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki». Tomsk, 2018. Pp. 93–98. (rus)

8. Kuzhakhmetova E.R., Sapozhnikov A.I. Architectural expressiveness and physiological expediency of buildings with curvilinear surfaces [Arhitekturnaya vyrazitel'nost' i fiziologicheskaya celesoobraznost' zdaniy s krivolinejnymi poverhnostyami]. Building materials, equipment, technologies of the 21st century. 2012. No. 11 (166). Pp. 42–45. (rus)

9. Sapozhnikov A.I. The life of buildings in the earth element [Zhizn' zdaniy v zemnoj stihii]. Germany: LAP LAMBER Academic Publishing. 2014, 60 p. (rus)

10. Baikov V.N., Sigalov E.E. Reinforced concrete structures [Zhelezobetonnye konstrukcii: obshchij kurs] Ucheb. dlya vuzov. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Strojizdat, 1991, 767p. (rus)

11. Kuzhakhmetova E.R. Methods for calculating cable and cable-stayed structures [Metody rascheta vant i vantovyh konstrukcij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 39–48. (rus)

12. Trushchev A. G. Spatial metal structures: [Prostranstvennye metallicheskie konstrukcii] Proc. manual for universities. M.: Stroyizdat. 1983, 215 p. (rus)

13. SP 63.13330.2011. Concrete and reinforced concrete structures [Svod pravil. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii]. SNiP 52-01-2003 rev, no. 1. (rus)

14. SP 16.13330.2011. Steel construction. Updated edition [Svod pravil. Stal'nye konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya] SNiP II-23-81*. (rus)

15. SP 20.13330.2011. Loads and impacts [Svod pravil. Nagruzki i vozdejstviya. Aktualizirovannaya redakciya]. SNiP 2.01.07-85*. (rus)

Information about the authors

Kuzhakhmetova, Elvira R. Postgraduate student. E-mail: elja_09@bk.ru. Immanuel Kant Baltic Federal University. Russia, 236016, Kaliningrad, st. A. Nevskogo, 14

Received in February 2019

Для цитирования:

Кужахметова Э.Р. Конструктивные решения расположения вант в цилиндрично-плитно-вантовом (цпв) покрытии здания (сооружения) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №5. С. 77–89. DOI: 10.34031/article_5ce292ca24bc23.91006970

For citation:

Kuzhakhmetova E.R. Constructive solutions of guys location in cylindrical-slab-guy covering of building (construction). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 77–89. DOI: 10.34031/article_5ce292ca24bc23.91006970