

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)



В.К. ФЕДУЛОВ, М.Д. СУЛАДЗЕ,
Л.Ю. АРТЕМОВА

ВАНТОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Учебное пособие

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

В.К. ФЕДУЛОВ, М.Д. СУЛАДЗЕ,
Л.Ю. АРТЕМОВА

ВАНТОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Утверждено
в качестве учебного пособия
редсоветом МАДИ

МОСКВА
МАДИ
2014

УДК 692.47
ББК 38.112.7
Ф348

Рецензенты:

зам. начальника технического отдела ФГУП ГПИ и НИИ ГА
«Аэропроект», канд. техн. наук *Виноградов Б.А.*;
ген. директор ООО «СК Аэродор», канд. техн. наук *Битнев П.А.*

Федулов, В.К.

Ф348 Вантовые покрытия: учеб. пособие для вузов / В.К. Федулов, М.Д. Суладзе, Л.Ю. Артемова. – М.: МАДИ. – М., 2014. – 48 с.

В учебном пособии рассмотрены большепролетные покрытия в виде вантовых систем. Дана их классификация, основы расчета и конструирования, а также общие сведения о монтаже таких покрытий.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

УДК 692.47
ББК 38.112.7

Учебное издание

ФЕДУЛОВ Владимир Куприянович
СУЛАДЗЕ Максим Давидович
АРТЕМОВА Людмила Юрьевна

ВАНТОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Учебное пособие

Редактор Т.А. Феоктистова

Подписано в печать 23.06.2014 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,0. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 55 руб.
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64

© МАДИ, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение вантовых покрытий в зданиях и сооружениях аэропортов объясняется их определенными технико-экономическими преимуществами перед традиционными конструкциями и главное – они дают возможность перекрывать большие пролеты без промежуточных опор. Вместе с тем дальнейшее развитие этих покрытий с точки зрения поиска оптимальных конструктивных и архитектурных решений невозможно без подготовки инженерных кадров соответствующей квалификации. Последнее, собственно, и обусловило написание настоящего пособия.

Содержание учебного пособия отвечает требованиям рабочей программы по специализации № 5 «Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений» направления подготовки 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

В пособии рассмотрены основные виды вантовых покрытий, используемых в аэропортостроении, рекомендованы упрощенные методы расчета таких покрытий и даны примеры расчета вантовых систем, а также приведены основные сведения о монтаже покрытий. Пособие содержит справочные материалы для выполнения курсового проекта. Оно также может быть полезным при реальном проектировании вантовых покрытий на стадии вариантной разработки.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При строительстве зданий промышленного, гражданского и транспортного назначения широко применяются большепролетные покрытия висячего типа, в которых основными несущими элементами являются гибкие (ванты) или жесткие нити, работающие на растяжение*.

По сравнению с традиционными покрытиями (фермы, балки, рамы, арки и т.д.) висячие системы имеют ряд преимуществ, а именно:

- ✓ возможность перекрывать большие пролеты (до 100 м и более);
- ✓ практически полностью реализуется несущая способность вант;
- ✓ малый вес покрытия;
- ✓ с увеличением перекрываемого пролета удельная масса несущих элементов на единицу площади практически не увеличивается;
- ✓ минимальная строительная высота покрытия обуславливает соответствующее снижение затрат на эксплуатацию сооружения в целом;
- ✓ хорошая транспортабельность конструкций покрытия, так как ванты можно сворачивать в бухты;
- ✓ при монтаже покрытия значительно снижается потребность в лесах и подмостях;
- ✓ при эксплуатации висячие покрытия менее чувствительны к различного рода перегрузкам, осадкам опор и прочее.

Вместе с тем покрытиям висячего типа присущи и недостатки, главным из которых является их повышенная деформативность за счет изменения первоначальной геометрической длины вант. Наличие этого свойства может привести к нарушению герметичности кровли, ограничить возможность установки подвешенного кранового оборудования, а также негативно отразиться на аэродинамической устойчивости покрытия и, как следствие, привести к дополнительным затратам на ее повышение. Другим существенным недостатком является необхо-

* В пособии рассматриваются только покрытия из гибких нитей, в которых напряжения от изгиба весьма малы и ими можно пренебречь.

димось применения специальных опорных конструкций, воспринимающих усилия распора.

Для гибких вант висячих покрытий используют, как правило, тросы одинарной или двойной свивки, изготовленные из высокопрочной проволоки диаметром 4...6 мм. Проволока меньших диаметров не рекомендуется, что обусловлено ее пониженной коррозионной стойкостью.

В зависимости от касания между собой проволок канаты делятся на канаты с точечным (ТК) и линейным (ЛК) касанием проволок (Приложение 1). При этом канаты типа ТК более жесткие, чем типа ЛК.

Расчетное сопротивление стального каната принимается равным 60% от разрывного напряжения, вычисляемого как частное от деления разрывного усилия на площадь сечения всех проволок в канате.

Из технической литературы, например [1], следует, что висячие покрытия могут классифицироваться по тому или иному признакам: вид материала, геометрическая форма поверхности, вид покрытия в плане и т.д. Вместе с тем, в зависимости от конструктивного решения покрытия, наибольшее распространение получила следующая классификация: висячие оболочки, вантовые покрытия, подвесные конструкции, комбинированные системы и мембраны. При этом из всего многообразия покрытий в пособии будут рассмотрены только те, которые могут быть применены в аэропортостроении, в частности, большепролетные покрытия ангаров и аэровокзалов.

2. ВИСЯЧИЕ ОБОЛОЧКИ

Висячие оболочки подразделяют на оболочки с параллельным и радиальным расположением вант. Их также называют однополосными системами.

2.1. Оболочки с параллельными вантами

Оболочки с параллельно расположенными вантами наиболее просты в конструктивном исполнении и их применяют для прямоугольных в плане зданий (рис. 1).

По типу кровли они могут быть сборные и монолитные, однопролетные и многопролетные. Монолитные по сравнению со сборными обладают большей сопротивляемостью образованию трещин, но не отвечают требованиям индустриализации строительства.

Конструкция висячей оболочки представляет собой систему параллельных вант, закрепленных на незамкнутом контуре (рис. 1а), роль которого может выполнять железобетонная или стальная балка (рис. 1а), либо каркас пристройки (рис. 1б).

Шаг вант t рекомендуется принимать равным 1,5...2,0 м, а стрелу провисания f назначают в пределах $1/10...1/25$ от l (l – перекрываемый пролет).

При наличии требований по ограничению объема здания, а следовательно, и покрытия можно назначать меньшее значение стрелы провисания. Однако в этом случае усилия в вантах и опорных конструкциях возрастают, что приводит к увеличению расхода материалов.

Опорные элементы (балки), воспринимающие распор от вант, могут иметь прямоугольное, двутавровое или другое сечение. Ширину сечения b и высоту h в зависимости от шага колонн d ориентировочно можно принять равными $d/10$ и $d/15$ соответственно.

Конструктивные решения элементов и узлов покрытия представлены в Приложении 2.

В мировой практике аэропортостроения наибольшую известность получили ангары в аэропортах Франкфурт-на-Майне и Фьюми-

чино, покрытия которых выполнены в виде оболочек с параллельным расположением вант.

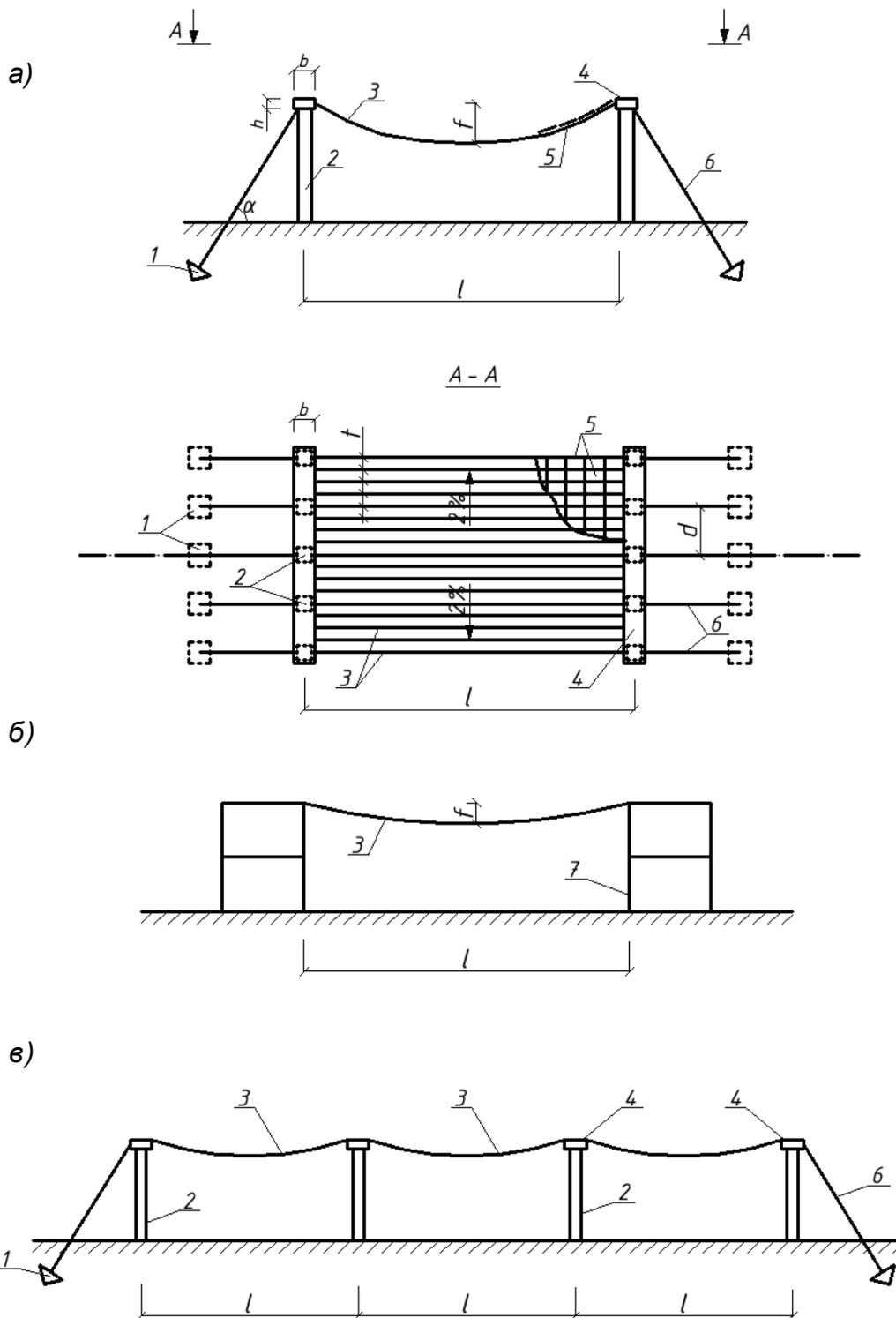


Рис. 1. Схемы висячих оболочек с параллельными вантами:
 а, б – однопролетные, в – многопролетная; 1 – анкерные фундаменты, 2 – колонны, 3 – ванты, 4 – бортовой элемент, 5 – плиты кровли, 6 – оттяжки, 7 – каркас пристройки

Ангар в аэропорту Франкфурт-на-Майне. Подвесная конструкция покрытия каждой секции представляет собой систему из висячих железобетонных оболочек шириной 7,5 м, толщиной 8,6 см с краевыми ребрами высотой 40,5 см (рис. 2). Каждая полоса-оболочка опирается по концам на свою пару железобетонных решетчатых опор (по десять с каждой боковой стороны ангара), а по оси между двумя секциями на промежуточную опорную раму.

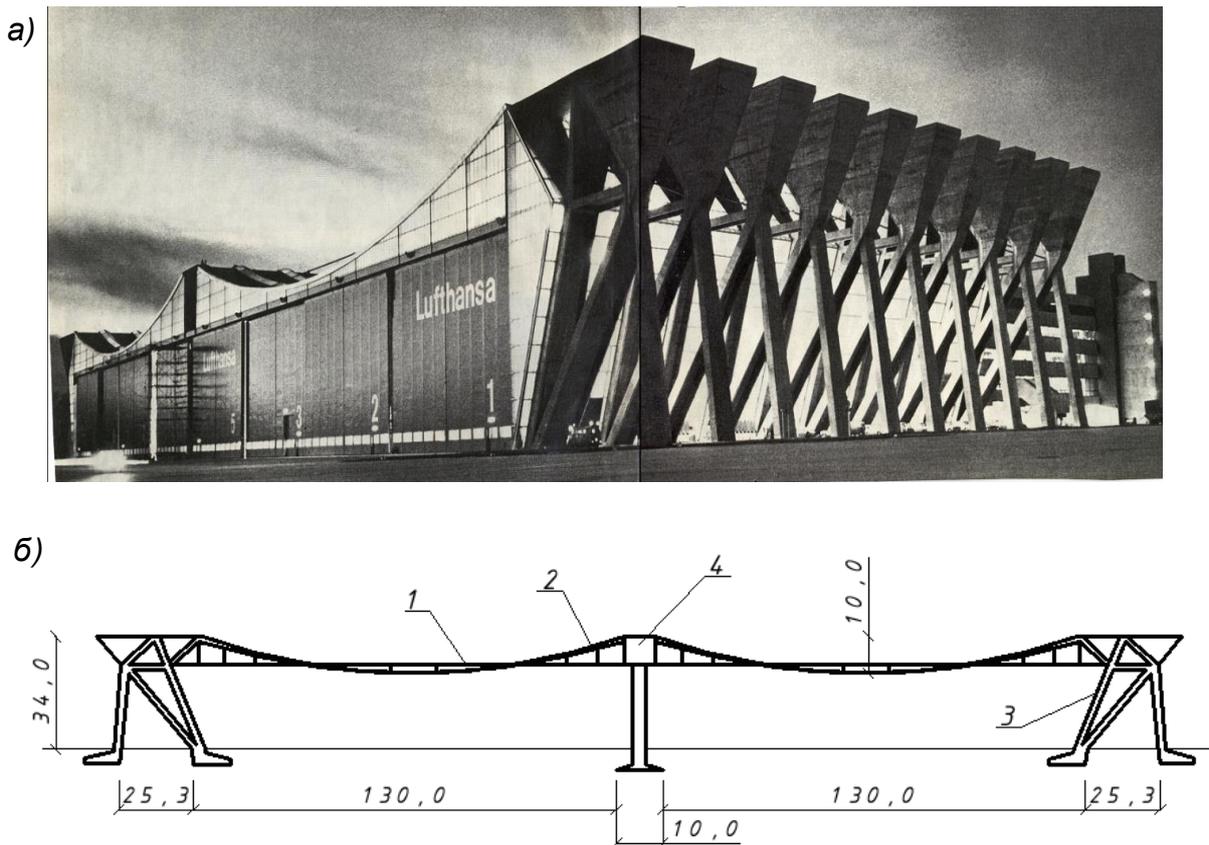
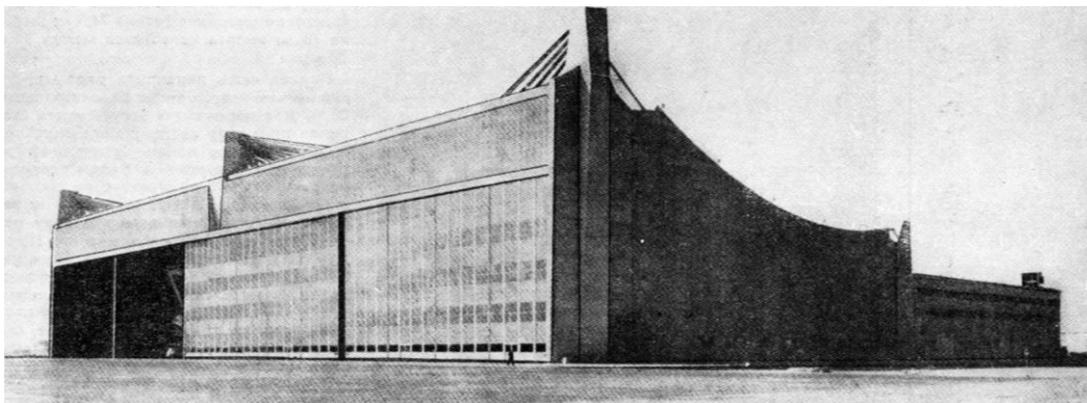


Рис. 2. Ангар в аэропорту Франкфурт-на-Майне (размеры в м):
 а – общий вид, б – сечение вдоль пролета;
 1 – затяжка, 2 – оболочка,
 3 – опоры, 4 – ригель рамы

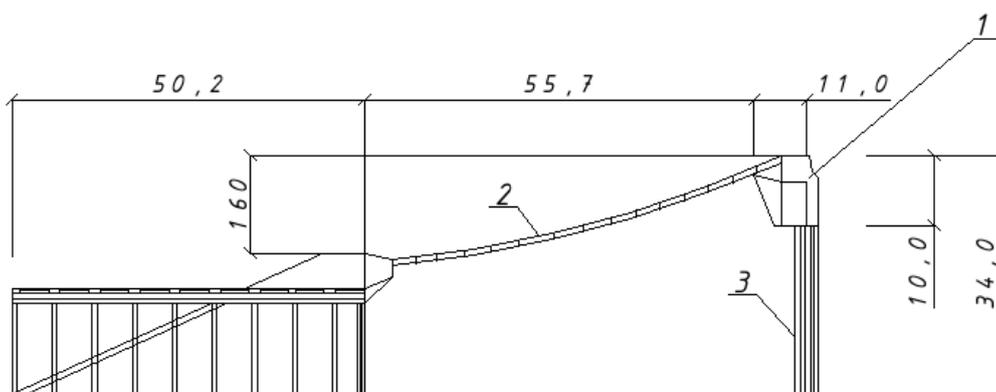
Основными несущими элементами полосы являются 28 вант из стальных стержней периодического профиля диаметром 26,5 мм. Стержни заключены в стальные трубки и оснащены по концам анкерными устройствами. Для конструкции оболочек использован легкий бетон. Для восприятия распора в каждую боковую опору входит противовес объемом 435 м³ из тяжелого бетона.

Ангар в аэропорту Фьюмичино. Конструкция покрытия выполнена в виде висячей оболочки, закрепленной к предварительно напряженным железобетонным пилонам, в которых заанкерены расходящиеся веером концы вант (рис. 3). Ванты оболочки располагаются в направлении глубины ангара и имеют между распределительными балками пролет и шаг 55,7 и 4,5 м соответственно. Каждая из вант состоит из трех канатов и после омоноличивания принимает форму прямоугольного бруса сечением 40×15 см.

а)



б)



*Рис. 3. Ангар в аэропорту Фьюмичино (размеры в м):
а – общий вид, б – продольное сечение;
1 – пилон, 2 – висячее покрытие, 3 – ворота*

Точки закрепления висячей оболочки к пилонам находятся в разных уровнях: в плоскости главного фасада на высоте 30 м, а в плоскости задних пилонов – 20 м, что обеспечивает отвод воды с поверхности покрытия.

Для восприятия распора в плоскостях ворот и задних пилонов предусмотрены конструкции балочного типа, работающие на сжатие.

2.2. Основы расчета висячих оболочек с параллельными вантами

Сложность определения усилий в вантах обусловлена нелинейной зависимостью усилий от нагрузки. Поэтому здесь и далее в пособии предлагаются упрощенные приемы статического расчета вантовых покрытий. Вместе с тем их использование позволяет проектировщику разработать с достаточной степенью точности предварительное конструктивное решение покрытия в целом.

В качестве расчетной схемы принимают провисающую нить с опорами в одном или разных уровнях (рис. 4 а, б). Нагрузка q от массы кровли и снега распределяется равномерно на 1 п. м ванты с грузовой полосы равной шагу вант (рис. 4в).

Распор ванты H без учета деформации ванты от растяжения определяют по формуле*

$$H = \frac{ql^2}{8f}. \quad (2.1)$$

При закреплении вант в одном уровне вертикальная составляющая V опорной реакции составит

$$V = \frac{ql}{2}. \quad (2.2)$$

Наибольшее растягивающее усилие N_{\max} возникает в ванте у опоры, а наименьшее N_{\min} – в середине пролета. Эти усилия будут соответственно равны

$$N_{\max} = \sqrt{H^2 + V^2} = H\sqrt{1 + \frac{16f^2}{l^2}}, \quad (2.3)$$

$$N_{\min} = H. \quad (2.4)$$

При расположении точек закрепления ванты в разных уровнях (рис. 4б) вертикальная составляющая будет равна

$$V_1 = \frac{ql}{2} + H \cdot \operatorname{tg}\beta > V_2 = \frac{ql}{2} - H \cdot \operatorname{tg}\beta, \quad (2.5)$$

поэтому на верхней опоре ванты испытывает максимальное растяжение.

* Пояснение обозначений в формулах дается один раз.

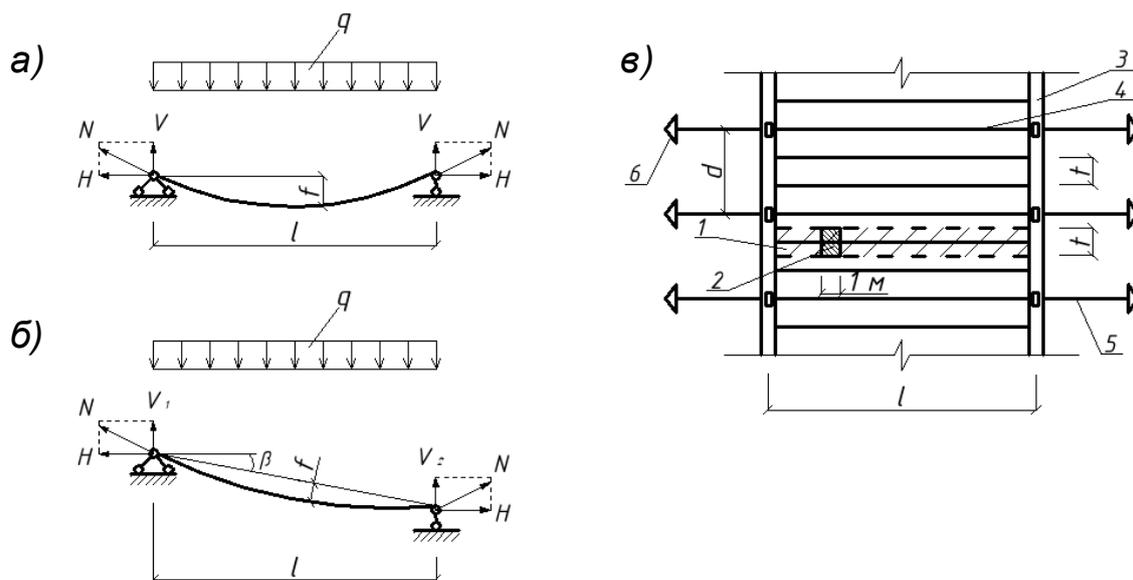


Рис. 4. Расчетная схема параллельных вант в висячей оболочке:
 а – с опорами в одном уровне, б – с опорами в разных уровнях,
 в – фрагмент плана покрытия; 1 – грузовая полоса, 2 – грузовая
 площадка на 1 п. м ванты, 3 – бортовой элемент, 4 – ванта,
 5 – оттяжка, 6 – анкер

Определение расчетной нагрузки при вычислении растягивающих усилий в вантах в стадии возведения покрытия производят с учетом дополнительного растяжения вант при его предварительном напряжении по формуле

$$q = [q_n + (q_{кр} + q_{сн})\gamma_f]t, \quad (2.6)$$

где q_n , $q_{кр}$, $q_{сн}$ – расчетная нагрузка на 1 м² покрытия плит, кровли и снега соответственно; $\gamma_f = 1,2 - 1,3$ – коэффициент надежности по нагрузке.

Прогиб ванты при равномерно распределенной нагрузке составляет

$$\Delta f = \frac{3}{128} \frac{\mu^2 q_n l^4}{f^2 EA}, \quad (2.7)$$

где $\mu = 1 + \frac{8f^2}{3l^2}$ – коэффициент, учитывающий превышение первоначальной длины ванты «в заготовке» над перекрываемым пролетом; E , A – модуль упругости и площадь сечения ванты соответственно; q_n – нормативная нагрузка до предварительного напряжения.

Длина ванты «в заготовке» составляет при опорах в одном уровне

$$S = l \left[1 + \frac{8f^2}{3l^2} - \frac{H}{EA} \right], \quad (2.8)$$

а при опорах в разных уровнях

$$S = l \left[\frac{1}{\cos \beta} + \frac{8f^2 \cos^3 \beta}{3l^2} - \frac{H}{EA \cos^2 \beta} \right]. \quad (2.9)$$

Усилие в наклонных оттяжках (рис. П.1б) определяют по формуле

$$N_o = \frac{Hd}{t \cos \alpha}. \quad (2.10)$$

Площадь сечения ванты A вычисляют исходя из требований первой группы предельных состояний

$$A = \frac{1,6N}{k_n R_{un}}, \quad (2.11)$$

где 1,6 – коэффициент надежности по материалу; k_n – коэффициент, учитывающий понижение разрывного усилия каната по отношению к суммарному разрывному усилию проволок (для канатов типа ТК и ЛК $k_n = 0,81 - 0,85$); R_{un} – временное сопротивление проволок каната разрыву (для канатов типа ТК и ЛК в зависимости от диаметра проволоки принимается равным 1176, 1372, 1568, 1666, 1764, 1862 и 1960 МПа).

2.3. Пример расчета висячей оболочки с параллельными вантами

Исходные данные:

- ✓ поперечное сечение здания принимается согласно рис. 1а;
- ✓ перекрываемый пролет $l = 72$ м;
- ✓ шаг вант $t = 1,5$ м;
- ✓ угол наклона оттяжек к горизонту $\alpha = 60^\circ$;
- ✓ район строительства – г. Москва (III-й снеговой район).

Требуется: подобрать поперечное сечение вант.

Решение. Подсчет нагрузок на 1 м^2 покрытия выполним в табличной форме (табл. 2.1).

Расчетную погонную нагрузку определяем по формуле (2.6)

$$q = (148,0 + 391,0 \cdot 1,2) \cdot 1,5 = 927,42 \text{ кг/м.}$$

Назначаем стрелу провисания ванты

$$f = \frac{72}{10} = 7,2 \text{ м.}$$

Таблица 2.1

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка q_n , кг/м ²	γ_f	Расчетная нагрузка q , кг/м ²
<i>Нагрузка до предварительного напряжения вант</i>			
Канаты	10	1,5	10,5
Плиты железобетонные ребристые: приведенная толщина 0,05 м, $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$ (2500×0,05)	125	1,1	137,5
<i>Итого</i>	135	–	148,0
<i>Нагрузка после напряжения вант пригрузом</i>			
Заливка швов бетоном	15	1,3	19,5
Пароизоляция	3	1,3	3,9
Утеплитель (пенобетон): толщина 0,2 м, $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ (400×0,2)	80	1,3	104,0
Цементная стяжка: толщина 0,03 м, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ (1800×0,03)	54	1,3	68,9
Гидроизоляционное покрытие: три слоя рубероида на битумной мастике	12	1,3	15,6
Снег	128,6	1,4	180
<i>Итого</i>	292,6	–	391,9
<i>Всего</i>	427,6	–	539,9

Используя формулы (2.1) – (2.3) определяем величину распора, вертикальной составляющей и усилие в ванте

$$H = \frac{927,42 \cdot 72^2}{8 \cdot 7,2} = 83467,8 \text{ кг,}$$

$$V = \frac{972,42 \cdot 72}{2} = 35007,1 \text{ кг,}$$

$$N = \sqrt{83467,5^2 + 35007,1^2} = 90511,4 \text{ кг.}$$

Требуемую площадь сечения ванты из стального каната ЛК-РО при $R_{un} = 19600 \text{ кг/см}^2$ и $k_n = 0,85$ определяем по формуле (2.11)

$$A = \frac{1,6 \cdot 90511,4}{0,85 \cdot 19600} = 8,69 \text{ см}^2 = 869,0 \text{ мм}^2.$$

По сортаменту (Приложение 1) принимаем канат двойной свивки ЛК-РО диаметром 45,5 мм и площадью сечения всех проволок $991,84 \text{ мм}^2$. Так как $991,84 \text{ мм}^2 > 869,0 \text{ мм}^2$, то несущая способность ванты обеспечена.

Погонная нормативная нагрузка на ванту до предварительного напряжения составляет

$$q_n = 135 \cdot 1,5 = 202,5 \text{ кг/м.}$$

Прогиб ванты в этой стадии определяем по формуле (2.7) при $E = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$

$$\mu = 1 + \frac{8 \cdot 7,2^2}{3 \cdot 72^2} = 1,027,$$

$$\Delta f = \frac{3}{128} \frac{1,027^2}{7,2^2} \frac{202,5 \cdot 72^4}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 8,69} = 0,2 \text{ м.}$$

Жесткость покрытия обеспечена, так как

$$\frac{\Delta f}{l} = \frac{0,2}{72} = \frac{1}{360} < \left[\frac{\Delta f}{l} \right] = \frac{1}{300}.$$

Длину ванты «в заготовке» определяем по формуле (2.8)

$$S = 72 \cdot \left[1 + \frac{8 \cdot 7,2^2}{3 \cdot 72^2} - \frac{83467,5}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 8,69} \right] = 73,5 \text{ м.}$$

Угол наклона ванты к горизонту в точке закрепления на опоре составит

$$\cos \varphi = \frac{H}{N} = \frac{83467,8}{90511,4} = 0,922; \varphi = 23^\circ.$$

2.4. Оболочки с радиальными вантами

Однопоясные покрытия с радиальным расположением вант применяются для круглых в плане сооружений. Зданиями такого типа в аэропортостроении могут быть аэровокзалы, автостоянки, грузовые

склады и т.д. Существуют две формы покрытия: вогнутая и шатровая (рис. 5).

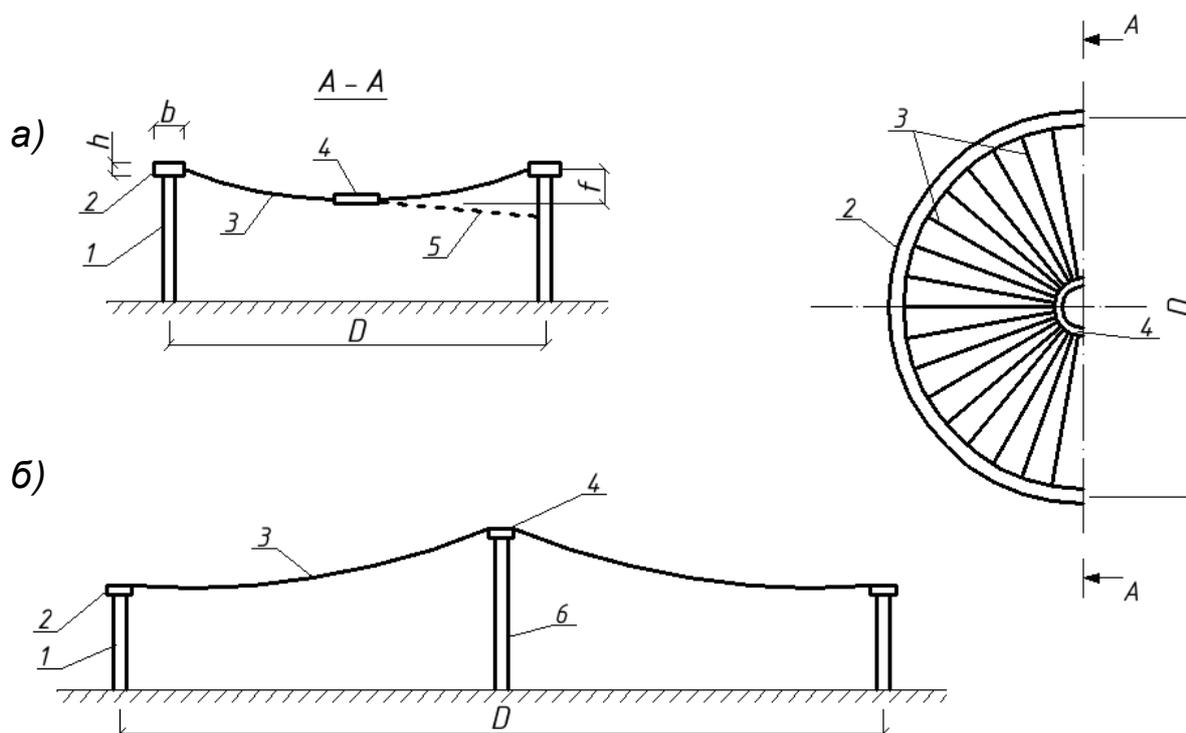


Рис. 5. Схемы висячих оболочек с радиальными вантами: вогнутое (а) и шатровое (б) покрытия; 1 – колонны, 2 – наружное опорное кольцо, 3 – ванты, 4 – центральное кольцо, 5 – водоотводящая труба, 6 – центральная стойка в виде колонны

Основным достоинством оболочек с радиальными вантами является практически безизгибная работа ее пролетных элементов, что обеспечивает экономичность и наибольшую несущую способность последних.

Наружное кольцо воспринимает распор от вант и работает на сжатие, а внутреннее – на растяжение. Поэтому первое целесообразно выполнять из железобетона, а второе – из стали.

Общим недостатком однопоясных покрытий является большое количество типоразмеров трапециевидных железобетонных плит, укладываемых на ванты, а покрытие, изображенное на рис. 5а, требует устройства сложных водоотводящих систем.

Следует заметить, что однопоясные радиальные системы работают по вантовой схеме только в стадии монтажа, а после заливки

межплитных швов бетоном и обжатия плит они превращаются в железобетонные висячие оболочки.

При предварительном проектировании стрелу провисания f вогнутого покрытия назначают в пределах $\frac{1}{10} \div \frac{1}{20}$ от диаметра покрытия D , а шаг вант по внешнему кольцу – в пределах 3,0 м. Высоту поперечного сечения h наружного кольца принимают в пределах $\frac{D}{50} \div \frac{D}{100}$, а ширину назначают в зависимости от h , т.е. $b = (0,25 \div 0,3)h$.

Минимальный диаметр внутреннего кольца определяют из условия размещения в нем анкеров вант.

Конструктивные решения элементов и узлов однопоясных покрытий представлены в Приложении 2.

2.5. Основы расчета висячих оболочек с радиальными вантами

Распор определяют по аналогии с покрытиями из параллельных вант, т.е. без учета упругих деформаций вант

$$H = \frac{qD^2}{24f}. \quad (2.12)$$

Максимальное растягивающее усилие в ванте возникает на внешнем опорном кольце

$$N_{\max} = \sqrt{H^2 + V^2} = H\sqrt{1 + \frac{36f^2}{D^2}}, \quad (2.13)$$

где $V = \frac{qD}{4}$ – вертикальная составляющая на опоре (рис. 6).

В формулах (2.12), (2.13) нагрузка q определяется по формуле (2.6) при максимальном шаге вант на наружном кольце.

Внешнее кольцо сжимается усилием, равным по абсолютной величине усилию, растягивающему внутреннее кольцо

$$N_{\text{внеш}} = N_{\text{внутр}} = \frac{HD}{2t}. \quad (2.14)$$

Прогиб ванты в центре покрытия составляет

$$\Delta f = \frac{5}{864} \frac{\mu^2 q_n D^4}{f^2 EA}, \quad (2.15)$$

где $\mu = 1 + \frac{18f^2}{5D^2}$ – коэффициент превышения длины ванты к пролету.

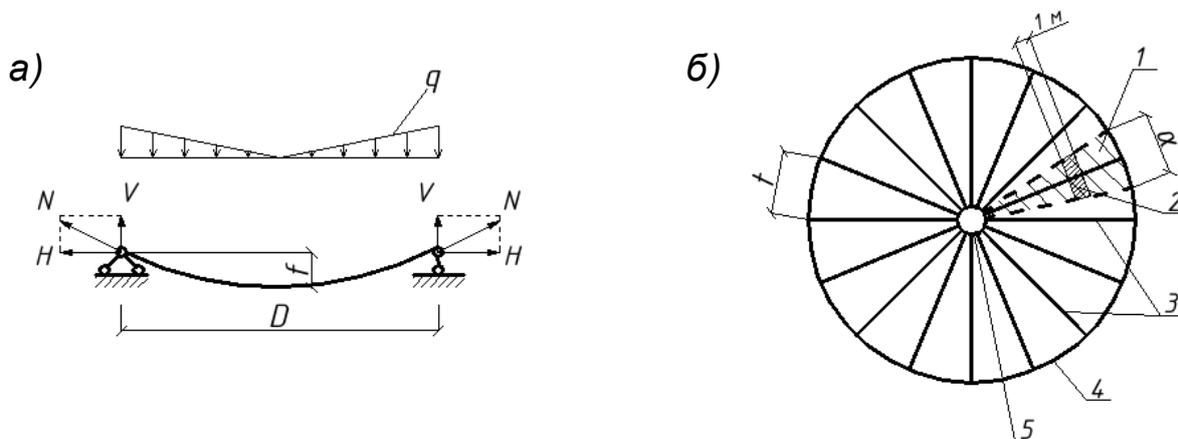


Рис. 6. Расчетная схема висячей оболочки с радиальными вантами (а) и план покрытия (б): 1 – грузовая площадь ванты, 2 – грузовая площадь на 1 п. м ванты, 3 – ванты, 4 – внешнее опорное кольцо, 5 – внутреннее опорное кольцо

Длину ванты «в заготовке» определяют по формуле

$$S = D \left[1 + \frac{18f^2}{5D^2} - \frac{H}{EA} \right]. \quad (2.16)$$

Для определения площади сечения ванты используется формула (2.11), а определение требуемой площади сечения центрального кольца из стали производят по формуле

$$A \geq \frac{N_k}{R_y}, \quad (2.17)$$

где R_y – расчетное сопротивление растяжению прокатной стали.

Внешнее кольцо работает на сжатие, поэтому кроме расчета на прочность его проверяют на устойчивость в своей плоскости. Критическое усилие сжатия с учетом влияния вант определяют по формуле

$$N_{кр} = \frac{2E_k I_k}{r^2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{cr^2}{E_k I_k}} \right] \geq N_k, \quad (2.18)$$

где r – радиус кольца; $E_k I_k$ – жесткость сечения кольца на изгиб в собственной плоскости; $c = N_k / \varepsilon$ – коэффициент, характеризующий

работу упругого основания; $\varepsilon = H / EA$ – относительное удлинение ванты в плоскости кольца.

Если кольцо выполнено из железобетона, то в формуле (2.18) жесткость принимают равной

$$E_k I_k = \frac{0,85 E_b b h^3}{12}, \quad (2.19)$$

где E_b – модуль упругости бетона.

2.6. Пример расчета висячей оболочки с радиальными вантами

Исходные данные:

- ✓ поперечное сечение здания принимается согласно рис.5а;
- ✓ перекрываемый пролет $D = 64,0$ м;
- ✓ шаг вант по наружному кольцу $t = 3,0$ м;
- ✓ угол наклона оттяжек к горизонту $\alpha = 60^\circ$;
- ✓ район строительства – г. Москва (III-й снеговой район).

Требуется: подобрать поперечное сечение вант и внутреннего кольца.

Решение. Расчетные и нормативные нагрузки на 1 м^2 покрытия примем по табл. 2.1:

- ✓ до предварительного напряжения вант нормативная и расчетная нагрузки соответственно равны 135 кг/м^2 и 148 кг/м^2 ;
- ✓ после напряжения вант нормативная нагрузка составит $292,6 \text{ кг/м}^2$, а расчетная – $391,9 \text{ кг/м}^2$.

Определяем количество вант (n) при шаге $t = 3$ м

$$n = \frac{\pi D}{t} = \frac{3,14 \cdot 64}{3} = 66,99 \text{ шт.}$$

Примем $n = 70$ шт. Уточняем t

$$t = \frac{\pi D}{n} = \frac{3,14 \cdot 64}{70} = 2,87 \text{ м.}$$

Максимальную расчетную погонную нагрузку определяем по формуле (2.6)

$$q = (148 + 391,9 \cdot 1,2) \cdot 2,87 = 1774,46 \text{ кг/м.}$$

Назначаем стрелу провисания покрытия

$$f = 64 / 10 = 6,4 \text{ м.}$$

Используя формулы (2.12) и (2.13) определяем

$$H = \frac{1774,64 \cdot 64^2}{24 \cdot 6,4} = 47323,7 \text{ кг,}$$

$$V = \frac{1774,64 \cdot 64}{4} = 28394,2 \text{ кг,}$$

$$N = \sqrt{47323,7^2 + 28394,2^2} = 55188,43 \text{ кг.}$$

Принимаем канат ЛК-РО при $R_{un} = 19600 \text{ кг/см}^2$ и $k_n = 0,85$, требуемая площадь сечения которого составит (формула 2.11)

$$A = \frac{1,6 \cdot 55188,43}{0,85 \cdot 19600} = 5,3 \text{ см}^2 = 530 \text{ мм}^2.$$

По сортаменту (Приложение 1) выбираем канат двойной свивки диаметром 35,5 мм и площадью сечения всех проволок 580,11 мм².

Так как 580,11 мм² > 530 мм², то несущая способность ванты обеспечена.

Погонная нормативная нагрузка на ванту до предварительного напряжения составляет

$$q_n = 135 \cdot 2,87 = 387,45 \text{ кг/м.}$$

Определяем коэффициент превышения длины ванты к пролету

$$\mu = 1 + \frac{18 \cdot 6,4^2}{5 \cdot 64^2} = 1,036,$$

а затем прогиб ванты по формуле (2.15)

$$\Delta f = \frac{5}{864} \frac{1,036^2}{6,4^2} \frac{387,45 \cdot 64^4}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 5,8011} = 0,11 \text{ м.}$$

Жесткость покрытия обеспечена, так как

$$\frac{\Delta f}{D} = \frac{0,11}{64} = \frac{1}{582} < \left[\frac{\Delta f}{D} \right] = \frac{1}{300}.$$

Длину ванты «в заготовке» определяем по формуле (2.16)

$$S = 64 \cdot \left[1 + \frac{18 \cdot 6,4^2}{5 \cdot 64^2} - \frac{47323,7}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 5,8011} \right] = 65,96 \text{ м.}$$

Угол наклона ванты к горизонту в точке ее закрепления на внешнем кольце составит

$$\cos \varphi = 47323,7 / 55188,43 = 0,857 \Rightarrow \varphi = 30^\circ.$$

Усилии растяжения в центральном кольце по формуле (2.14) составит

$$N_k = \frac{47323,7 \cdot 64}{2 \cdot 2,87} = 527651 \text{ кг.}$$

Требуемая площадь сечения этого кольца по формуле (2.17) составит

$$A = 527651 / 2300 = 229,4 \text{ см}^2.$$

По сортаменту принимаем два равнобоких уголка №25 с площадью сечения $239,4 \text{ см}^2 > 229,4 \text{ см}^2$.

По конструктивным соображениям назначаем шаг вант по внутреннему кольцу равным $t_{\text{вн}} = 0,15 \text{ м}$, и определяем диаметр кольца

$$d = \frac{0,15 \cdot 70}{3,14} = 3,34 \text{ м.}$$

Наружное опорное кольцо проектируем из железобетона: бетон тяжелый класса В25, модуль упругости $E_b = 3,06 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$, призмечная прочность $R_b = 148 \text{ кг/см}^2$.

Назначаем размеры прямоугольного сечения кольца: высота $h = 64 / 100 = 0,64 \text{ м}$, ширина $b = 0,25 \cdot 0,64 = 0,16 \text{ м}$, и определяем его жесткость

$$E_k I_k = \frac{0,85 \cdot 3,06 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 64^3}{12} = 909115 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}^2 = 9,1 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

По формуле (2.18) проверяем устойчивость кольца в своей плоскости

$$c = \frac{527651}{5438,5 \cdot 10^{-6}} = 97,02 \cdot 10^6 \text{ кг,}$$

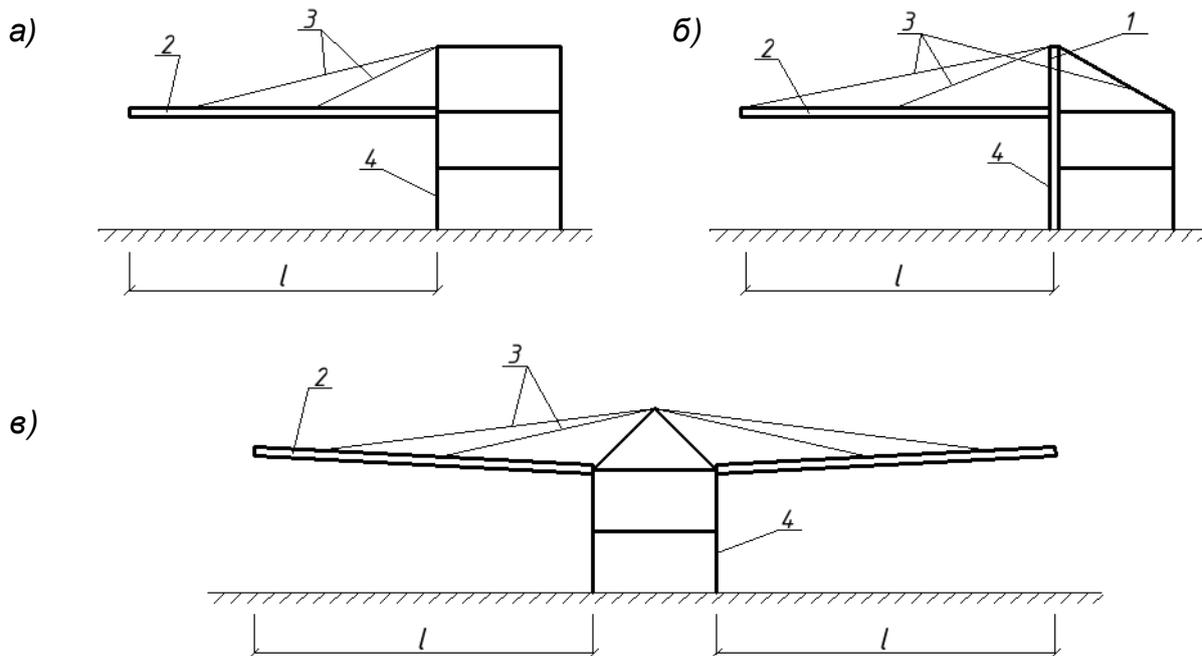
$$\varepsilon = \frac{47323,7}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 5,8011} = 5438,5 \cdot 10^{-6},$$

$$N_{kp} = \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^6}{32^2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{97,02 \cdot 10^6 \cdot 32^2}{9,1 \cdot 10^6}} \right] = 1,87 \cdot 10^6 \text{ кг.}$$

Так как $N_{kp} = 1,87 \cdot 10^6 \text{ кг} > N_k = 0,528 \cdot 10^6 \text{ кг}$, то устойчивость кольца из плоскости обеспечена.

3. ПОДВЕСНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Одной из разновидностей подвесных покрытий являются консольно-вантовые системы, представляющие собой балки жесткости, поддерживаемые вантами. Компоновка балок такого покрытия выполняется по одно- или по двухконсольной схеме (рис. 7). При одноконсольной системе пилон обычно делается шарнирно-опертым и работает на центральное сжатие. Его высоту ориентировочно назначают $0,6l$ (l – вылет консоли). Двухконсольная система, как правило, имеет равные по длине консоли, что делает ее уравновешенной. За счет этого несколько упрощается проектирование и монтаж подвесного покрытия. Консоли покрытия выполняются в виде балок, ферм или оболочек, изготовленных из различных материалов.



*Рис. 7. Схемы консольных подвесных покрытий:
а, б – одноконсольные, в – двухконсольные; 1 – пилон,
2 – подвесная балка жесткости, 3 – ванты (тросы),
4 – каркас пристройки*

Подвесные покрытия способны перекрывать здания произвольной конфигурации в плане, а вынесенные за пределы здания поддерживающие ванты позволяют практически полностью использовать

весь объем перекрываемого помещения. В то же время ванты, расположенные на открытом воздухе, требуют тщательного ухода и защиты от возможной коррозии. Кроме того, узлы примыкания вант к балке жесткости оказываются довольно сложными как в изготовлении, так и в эксплуатации. При этом следует особо отметить, что прогибы концов консолей могут достигать значительных величин (до 1,5 м и более), поэтому их вылеты обычно принимают в пределах 40...50 м.

а)



б)

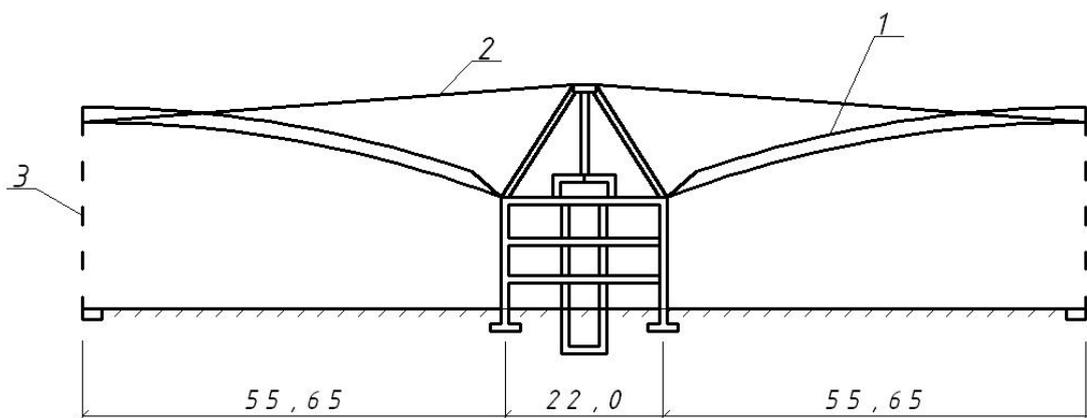


Рис. 8. Ангар в аэропорту Франкфурт-на-Майне (размеры в м):

а – общий вид, б – поперечное сечение;

1 – консольное покрытие, 2 – тросы-подвески (ванты),

3 – плоскость ворот

Вместе с тем, консольно-вантовые покрытия нашли широкое применение в аэропортостроении. Например, ангар в аэропорту Франкфурт-на-Майне имеет симметричное (относительно центрально расположенной пристройки) консольно-подвесное покрытие, выполненное из монолитных железобетонных оболочек двойкой кривизны (по 16 штук с каждой стороны) – рис. 8. Ширина оболочки – 10,7 м, высота волны – 2,2 м, толщина скорлупы – 8 см. По периметру оболочек выполнен бортовой элемент сечением 22×30 см.

Одним концом оболочка шарнирно оперта на каркас центрального здания, а ее консольная часть поддерживается в пролете шестью канатами, каждый из которых состоит из 40 проволок овального сечения. Проволоки расположены в стальной трубке с гофрированными стенками толщиной 0,35 мм. Для защиты вант от коррозии трубка заполнена цементным раствором.

Допустимы прогиб конца консоли составил 90 см.



Рис. 9. Консольно-вантовое покрытие здания галереи для приема пассажиров в аэропорту Шереметьево

Интересное решение консольно-вантовой системы реализовано в здании галереи для приема пассажиров в аэропорту Шереметьево. Покрытие галереи круглое в плане и состоит из стальных балок, каждая из которых поддерживается четырьмя тросами- вантами диаметром 59 мм каждый. Тросы, в свою очередь, крепятся к металлическому кольцу, установленному над кровлей в центральной зоне здания

(рис. 9). Конструктивные решения консольно-вантовых систем представлены в Приложении 3.

3.1. Основы расчета подвесных покрытий

В расчетном отношении подвесные покрытия являются статически неопределимыми системами. При этом установлено [2], что перемещения поддерживающих вант (подвесок) невелики по сравнению с их упругими удлинениями, которые возникают в вантах под действием нагрузок. Это позволяет рассматривать эти системы как стержневые и вести их расчет по недеформированной схеме обычными методами строительной механики.

Балка жесткости в случае применения двух и более подвесок работает как неразрезная балка на упруго-податливых (в местах крепления подвесок) и жестких (в местах опирания на пилон) опорах. При этом количество подвесок и места их крепления, как правило, назначают из того условия, чтобы по длине балка имела постоянное поперечное сечение. Выполнение этого условия возможно при равенстве пролетных и опорных изгибающих моментов, что достигается путем подтяжки подвесок.

Используя методику [4], рассмотрим последовательность определения усилий в элементах статически неопределимой системы (рис. 10а), загруженной равномерно распределенной нагрузкой q . В основной системе (рис. 10б) усилие N_n в промежуточной ванте раскладывается на вертикальную N_e и горизонтальную N_g составляющие. Тогда реакции в опорах однопролетной балки от нагрузки q и неизвестной величины N_n составят

$$\left. \begin{aligned} V_A &= \frac{ql}{2} - N_e \left(1 - \frac{a}{l}\right), \\ V_C &= \frac{ql}{2} - \frac{N_e \cdot a}{l}, \\ H_A &= \frac{ql^2}{2h}, \\ H_C &= \frac{ql^2}{2h} - \frac{N_e \cdot a}{h}. \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

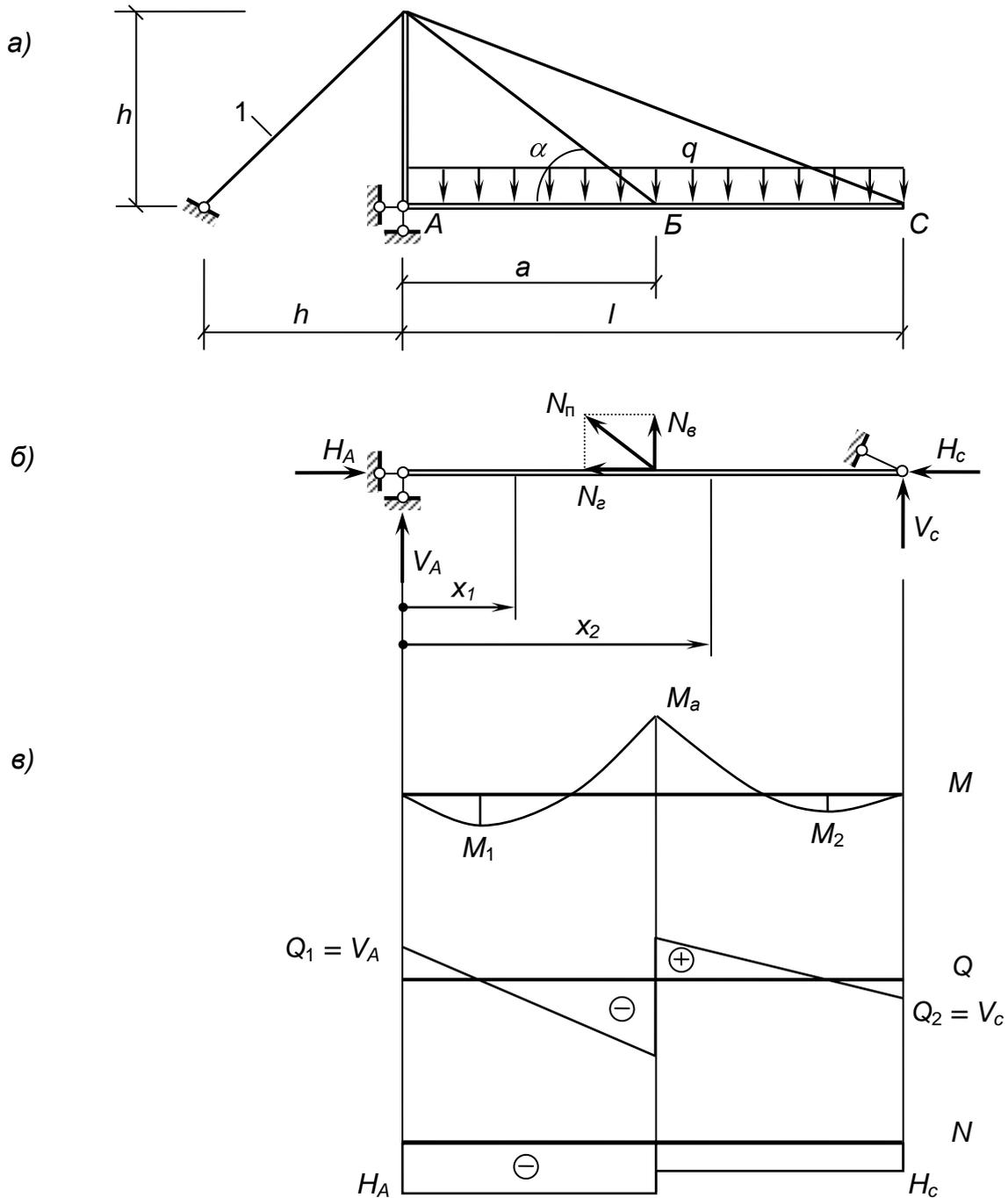


Рис. 10. Исходная консольно-вантовая система (а), ее основная расчетная схема (б) и эпюры усилий (в): 1 – оттяжка

Положение максимальных изгибающих моментов в пролетных сечениях балки определяют из условия равенства нулю поперечных сил в панелях АБ и ВС, т.е.

$$\left. \begin{aligned} Q_1 = V_A - q \cdot x_1 = 0, \\ Q_2 = V_A - q \cdot x_2 + N_e = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Отсюда

$$x_1 = \frac{V_A}{q}, \quad x_2 = \frac{V_A + N_\epsilon}{q}. \quad (3.3)$$

Максимальные пролетные моменты будут равны

$$M_1 = \frac{V_A^2}{2q}, \quad M_2 = \frac{(V_A + N_\epsilon)^2}{2q} - N_\epsilon \cdot a. \quad (3.4)$$

Опорный момент

$$M_B = V_A \cdot a - \frac{qa^2}{2}. \quad (3.5)$$

Проектирование балки жесткости постоянного по длине консоли сечения начинают с определения оптимальных значений вертикальной составляющей N_ϵ и расстояния a от опоры до узла крепления ваны.

$$N_\epsilon = \frac{ql}{2(1+\sqrt{2})} \left[1 + 2\sqrt{2} + 2\frac{\rho}{\varphi h}(1+\sqrt{2}) - \sqrt{\left[1 + 2\frac{\rho}{\varphi h}(1+\sqrt{2}) \right]^2 + 4\frac{\rho}{\varphi h}} \right], \quad (3.6)$$

$$a = \frac{l(ql - N_\epsilon)}{2\left(ql - ql\frac{\rho}{\varphi h} - N_\epsilon \right)}. \quad (3.7)$$

В формуле (3.6) φ – коэффициент продольного изгиба и ρ – ядровое расстояние, которыми необходимо задаться. При предварительном расчете φ принимают равным 0,7...0,85, а ρ – 0,3...0,8.

Усилие в промежуточной ванте

$$N_n = \frac{N_\epsilon \cdot l_n}{h}, \quad (3.8)$$

где $l_n = \sqrt{h^2 + a^2}$ – длина промежуточной ваны.

Площадь сечения промежуточной ваны

$$A_n = \frac{N_\epsilon \sqrt{h^2 + a^2}}{hR_{un}}. \quad (3.9)$$

Площадь поперечного сечения крайней ваны

$$A_k = \left(\frac{ql}{2} - \frac{N_\epsilon a}{l} \right) \frac{l_k}{hR_{un}}, \quad (3.10)$$

где $l_k = \sqrt{h^2 + l^2}$ – длина крайней ванты.

Площадь поперечного сечения оттяжки

$$A_o = \frac{ql^2\sqrt{2}}{2hR_{un}}. \quad (3.11)$$

Площадь поперечного сечения пилона

$$A_{пн} = \frac{1}{\varphi_n R_s} \left(\frac{ql}{2} + N_e - \frac{N_e a}{l} + \frac{ql^2}{2h} \right), \quad (3.12)$$

где φ_n – коэффициент продольного изгиба пилона; R_s – расчетное сопротивление стали сжатию.

По найденным максимальным усилиям определяют требуемую площадь сечения балки жесткости

$$A = \frac{M}{\rho R_s} + \frac{H}{\varphi R_s}. \quad (3.13)$$

3.2. Пример расчета подвешенного покрытия

Исходные данные:

- ✓ поперечное сечение здания принимается по рис. 10а;
- ✓ вылет консоли $l = 30$ м;
- ✓ шаг консолей $b = 6,0$ м;
- ✓ высота пилона $h = 6$ м;
- ✓ район строительства – г. Москва (III-й снеговой район).

Требуется: подобрать поперечное сечение поддерживающих вант, оттяжки и определить место крепления промежуточной ванты.

Решение. Подсчет нагрузок на 1 м^2 покрытия выполним в табличной форме (табл. 3.1).

Расчетная погонная нагрузка на 1 м балки составит

$$q = g \cdot b = 528,15 \cdot 6 = 3168,9 \text{ кг/м.}$$

Задаемся $\varphi = 0,8$ и $\rho = 0,5$ и по формуле (3.6) определяем вертикальную составляющую усилия в промежуточной ванте

$$N_e = \frac{3168,9 \cdot 30}{2(1 + \sqrt{2})} \left[1 + 2\sqrt{2} + 2 \frac{0,5}{0,8 \cdot 6} (1 + \sqrt{2}) - \sqrt{\left[1 + 2 \frac{16}{0,8 \cdot 6} (1 + \sqrt{2}) \right]^2 + 4 \frac{0,5}{0,8 \cdot 6}} \right] = 52946,2 \text{ кг.}$$

Таблица 3.1

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка q_n , кг/м ²	γ_f	Расчетная нагрузка g , кг/м ²
Канаты	5	1,05	5,25
Плиты железобетонные ребристые: приведенная толщина 0,05 м, $\gamma = 2500$ кг/м ³ (2500×0,05)	125	1,1	137,5
Заливка швов бетоном	10	1,3	13,0
Пароизоляция	3	1,3	3,9
Утеплитель (пенобетон): толщина 0,2 м, $\gamma = 400$ кг/м ³ (400×0,2)	80	1,3	104,0
Цементная стяжка: толщина 0,03 м, $\gamma = 1800$ кг/м ³ (1800×0,03)	54	1,3	68,9
Гидроизоляционное покрытие: три слоя рубероида на битумной мастике	12	1,3	15,6
Снег	128,6	1,4	180
<i>Итого</i>	417,6	–	528,15

Затем по формуле (3.7) определяем расстояние до места крепления промежуточной ванты

$$a = \frac{30(3168,9 \cdot 30 - 52946,2)}{2 \left(3168,9 \cdot 30 - 3168,9 \frac{16}{0,8 \cdot 6} - 52946,2 \right)} = 12,0 \text{ м.}$$

По формулам (3.1) определяем усилия в балке

$$V_A = \frac{3168,9 \cdot 30}{2} - 52946,2 \left(1 - \frac{12,0}{30} \right) = 15765,8 \text{ кг,}$$

$$V_C = \frac{3168,9 \cdot 30}{2} - \frac{52946,2 \cdot 12,0}{30} = 26355,0 \text{ кг,}$$

$$H_A = \frac{3168,9 \cdot 30^2}{2 \cdot 6} = 237667,5 \text{ кг,}$$

$$H_C = \frac{3168,9 \cdot 30^2}{2 \cdot 6} - \frac{52946,2 \cdot 12,0}{6} = 105892,4 \text{ кг.}$$

По формулам (3.4) и (3.5) определяем пролетные и опорные моменты

$$M_1 = \frac{15765,8^2}{2 \cdot 3168,9} = 39218,7 \text{ кг}\cdot\text{м},$$

$$M_2 = \frac{(15765,8 + 52946,2)^2}{2 \cdot 3168,9} - 52946,2 \cdot 12,0 = 109594,8 \text{ кг}\cdot\text{м},$$

$$M_B = 15765,8 \cdot 12,0 - \frac{3168,9 \cdot 12,0^2}{2} = -38971,2 \text{ кг}\cdot\text{м}.$$

Площади сечения промежуточной и крайней вант, а также оттяжки определяем, используя формулы (3.9) – (3.11)

$$A_n = \frac{52946,2 \sqrt{6^2 + 12^2}}{6 \cdot 19600} = 6,04 \text{ см}^2,$$

$$A_k = \left(\frac{3168,9 \cdot 30}{2} - \frac{52946,2 \cdot 12,0}{30} \right) \frac{\sqrt{6^2 + 30^2}}{6 \cdot 19600} = 6,85 \text{ см}^2,$$

$$A_o = \frac{3168,9 \cdot 30^2 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot 6 \cdot 19600} = 17,1 \text{ см}^2.$$

По сортаменту (Приложение 1) принимаем для промежуточной и крайней ванты канат двойной свивки типа ЛК-РО диаметром 36,5 мм и расчетной площадью 6,46 см. Перенапряжение в крайней ванте составляет 6%, что допустимо.

Для оттяжки принимаем канат того же типа диаметром 61,5 мм и площадью сечения $17,82 \text{ см}^2 > 17,1 \text{ см}^2$.

Подбор сечений пилона и балки жесткости производится согласно нормам [8] и методическим рекомендациям, например, [2].

4. АНКЕРЫ. ОСНОВЫ РАСЧЕТА

Анкер – устройство, служащее для передачи усилий от строительных конструкций на грунтовую толщу. Они применяются для зданий и сооружений различного назначения. Например, в ангарах, покрытия которых выполнены в виде висячих оболочек с параллельным расположением вант (рис. 1).

Из всего многообразия конструктивных решений анкеров (плиты, сваи и т.д. – рис. П.2.2, Приложение 2) наиболее простыми в изготовлении являются анкеры, заглубленные в грунт (рис. 11). При этом не допускается их устройство в набухающих, просадочных и сильносжимаемых грунтах (торф, ил), а также глинах текучей консистенции.

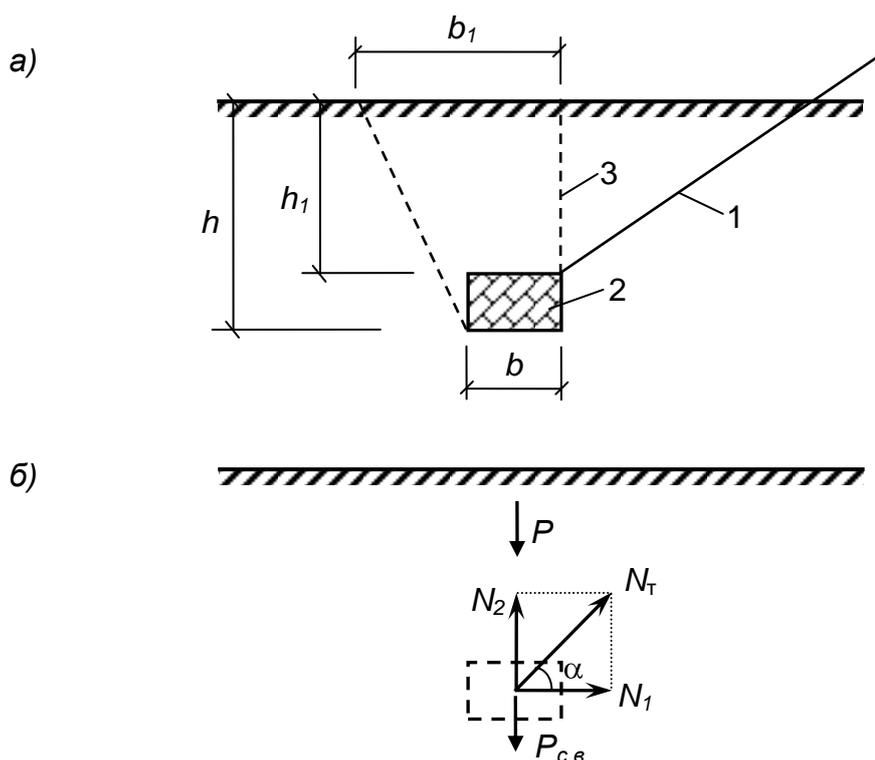


Рис. 11. Общая (а) и расчетная (б) схемы железобетонного анкера:
1 – жесткая тяга, 2 – анкер, 3 – граница котлована

Расчет горизонтально заглубленного анкера сводится к определению его габаритов, устойчивости на выдергивание и горизонтально-го давления на грунт.

Согласно расчетной схеме (рис. 11б) на анкер действуют: собственный вес анкера $P_{c.в}$, собственный вес грунта P , а также усилие в жесткой тяге, равное усилию в оттяжке $N_T = N_O$.

Собственный вес анкера и грунта можно найти по формулам:

$$P_{c.в} = b(h - h_1)l\gamma_b,$$

$$P = \frac{(b + b_1)h_1l\gamma}{2},$$

где l – длина анкера; $\gamma_b = 2500 \text{ кг/м}^3$ – плотность железобетона; $\gamma = 1900 \text{ кг/м}^3$ – плотность грунта.

Габаритные размеры анкера в первом приближении назначают из опыта проектирования таких конструкций и уточняют после проведения соответствующих расчетов.

Проверка устойчивости анкера при действии вертикальных сил проводится из условия

$$P_{c.в} + P + P_f \geq N_2 \cdot k, \quad (4.1)$$

где $P_f = f \cdot N_1$ – сила трения, $f = 0,3 \dots 0,6$ – коэффициент трения бетона по грунту,

$$N_1 = N_T \cos \alpha,$$

$$N_2 = N_T \sin \alpha,$$

k – коэффициент устойчивости, принимаемый равным не менее 3.

Проверка давления на грунт от действия горизонтальных сил производится из условия

$$k_1 R \geq N_1 / A, \quad (4.2)$$

где $k_1 = 0,25$ – коэффициент, учитывающий неравномерное смятие грунта; R – расчетное сопротивление грунта [11]; $A = (h - h_1)l$ – площадь поверхности анкера, передающая горизонтальное усилие на грунт.

5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОНТАЖЕ ВАНТОВЫХ СИСТЕМ

Конструкции узлов вантовых систем и систем в целом представляют собой индивидуальные решения, и поэтому их монтаж осуществляется по специально разработанным проектам. При этом зачастую для возведения подвесных покрытий требуются нестандартные технические приспособления и устройства, кондукторы, подъемные механизмы и прочее.

Отечественный и зарубежный опыт монтажа большепролетных покрытий [3], в том числе и вантовых систем, показывает, что устройство таких покрытий осуществляют главным образом на проектных отметках с использованием временных промежуточных опор.

Рассмотрим состав и последовательность выполнения основных операций процесса монтажа непосредственно вантовых покрытий.

Покрытия с параллельным расположением вант (рис. 12).

1. Раскладка на земле тросов (вант) в направлении перекрываемого пролета.
2. Подъем и закрепление одного из концов каждого троса на бортовом опорном элементе.
3. Подъем, закрепление и подтяжка лебедкой другого конца троса.
4. Монтаж плит покрытия.
5. Создание предварительного напряжения в вантах с помощью, например, пригруза.
6. Замоноличивание межплитных швов.
7. Устройство кровли.

Покрытия с радиальным расположением вант (рис. 13).

1. Монтаж внутреннего опорного кольца.
2. Раскладка тросов на земле в радиальном направлении.
3. Подъем и закрепление конца троса на внутреннем опорном кольце.
4. Подъем, закрепление троса на внешнем опорном кольце и его подтяжка.
5. Монтаж плит покрытия.

6. Создание предварительного напряжения в вантах с помощью, например, домкратов.

7. Замоноличивание межплитных швов.

8. Устройство кровли.

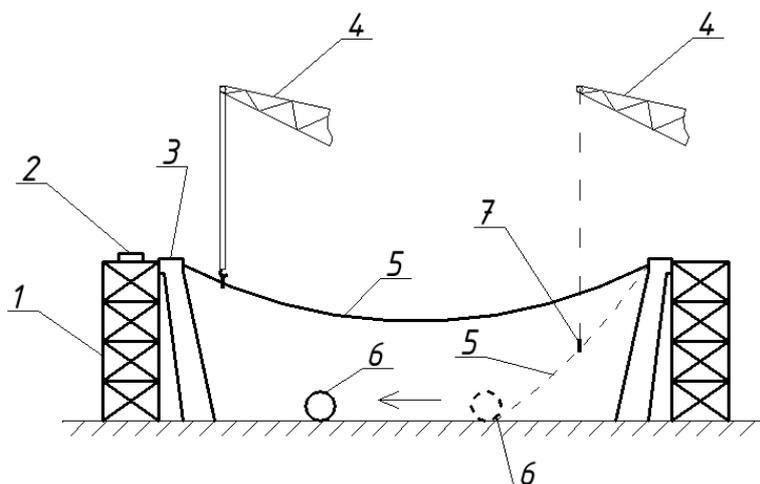


Рис. 12. Схема монтажа висячей оболочки с параллельными вантами (монтаж несущей ванты): 1 – временные опоры, 2 – лебедка, 3 – пилон, 4 – кран, 5 – ванта, 6 – барабан, 7 – траверса

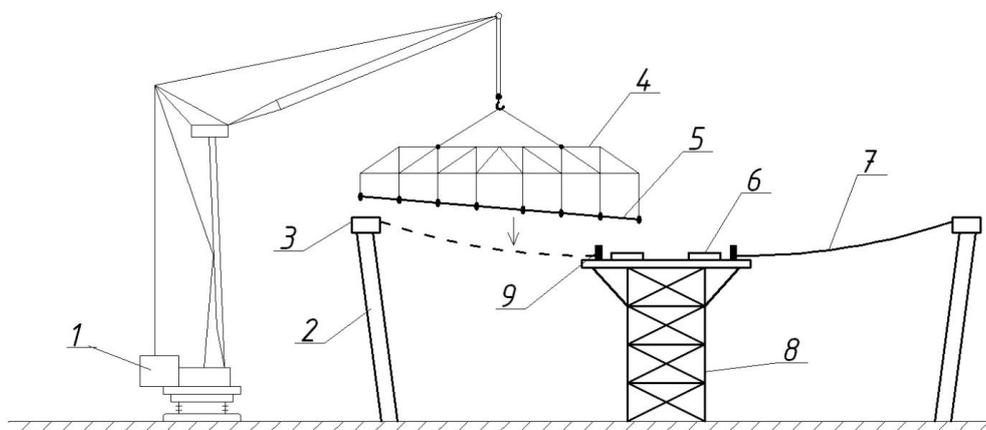


Рис. 13. Схема монтажа висячей оболочки с радиальными вантами: 1 – кран, 2 – колонна, 3 – внешнее опорное кольцо, 4 – траверса, 5 – монтируемая ванта, 6 – внутреннее опорное кольцо, 7 – смонтированная ванта, 8 – временная опора, 9 – монтажный упор

Консольно-подвесные покрытия (рис. 14).

1. Подъем и объединение отправных элементов балок жесткости, устройство связей.

2. Монтаж оттяжек и поддерживающих вант.

3. Натяжение поддерживающих вант с помощью, например, лебедок.

4. Монтаж плит покрытия.

5. Устройство кровли.

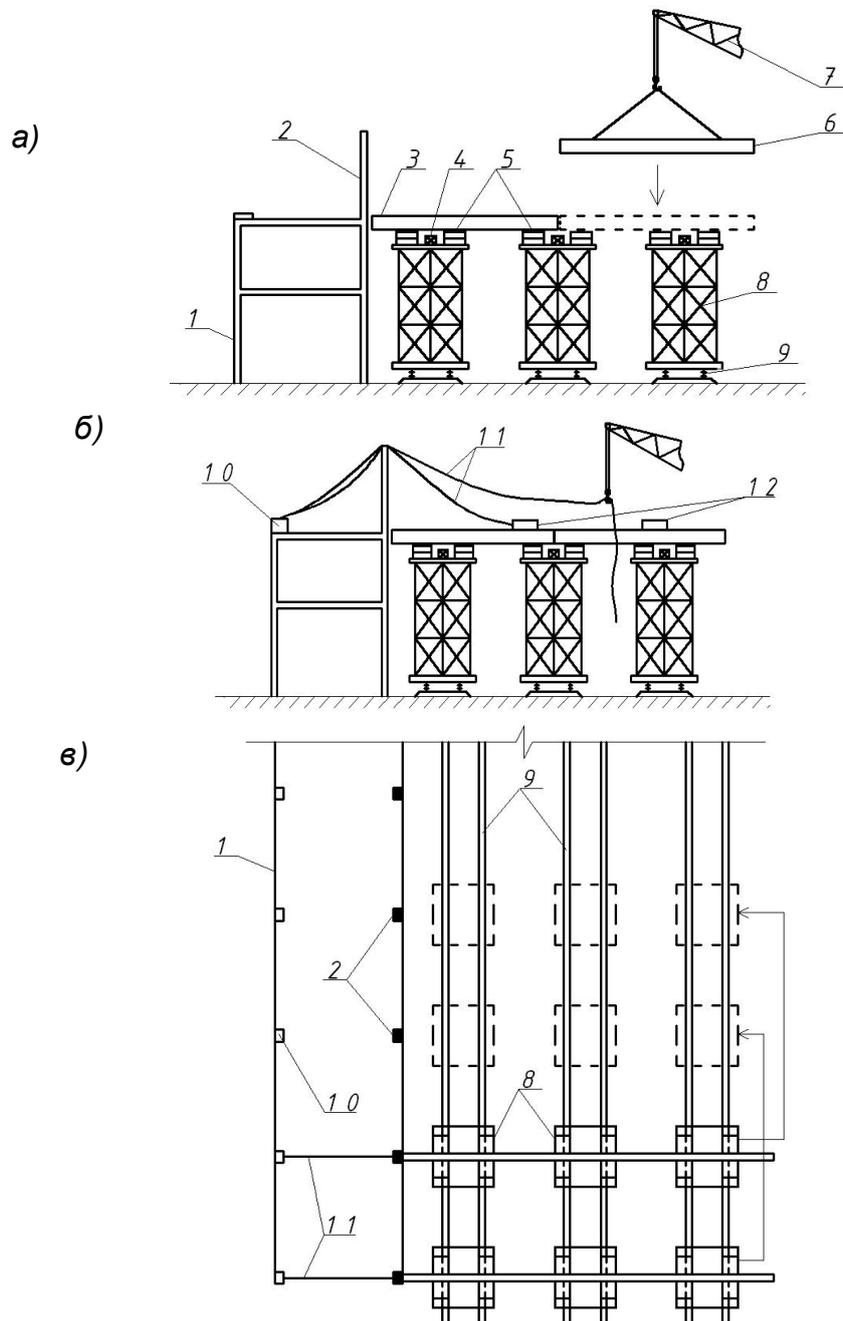


Рис. 14. Схема монтажа консольно-вантового покрытия:
 а – монтаж балок (ферм), б – монтаж вант, в – перемещение катучных опор (вид в плане); 1 – пристройка, 2 – пилон, 3 – смонтированный элемент, 4 – гидравлический домкрат, 5 – шпальные клетки, 6 – монтируемый элемент, 7 – кран, 8 – катучная опора, 9 – рельсовый путь, 10 – бортовой элемент, 11 – ванты, 12 – лебедка

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация подвесных покрытий.
2. Область применения подвесных покрытий. Достоинства и недостатки подвесных покрытий.
3. Покрытия с параллельным расположением вант: характеристика, достоинства, недостатки.
4. Расчетная схема покрытия с параллельным расположением вант.
5. Конструкции опорных частей покрытий с параллельными вантами.
6. Схемы раскладки плит подвесных покрытий.
7. Определение усилий в элементах покрытий с параллельным расположением вант.
8. Монтаж покрытий с параллельным расположением вант.
9. Конструкции анкеров.
10. Расчетная схема заглубленного бетонного анкера.
11. Условие устойчивости анкера против выдергивания.
12. Условие прочности анкера против сдвига.
13. Покрытия с радиальным расположением вант: характеристика, достоинства, недостатки.
14. Расчетная схема покрытия с радиальным расположением вант.
15. Конструкции внешнего опорного кольца.
16. Конструкции внутреннего опорного кольца.
17. Определение усилий в вантах, расположенных радиально.
18. Определение усилий во внешнем опорном кольце.
19. Определение усилий во внутреннем опорном кольце.
20. Устойчивость внешнего опорного кольца.
21. Монтаж покрытий с радиальным расположением вант.
22. Конструкции плит висячих покрытий.
23. Консольно-подвесные покрытия: характеристика, достоинства, недостатки.
24. Конструктивные решения элементов консольно-подвесных покрытий.
25. Расчетная схема консольно-подвесного покрытия.
26. Определение усилий в элементах консольно-подвесного покрытия.
27. Особенности расчета консольно-подвесного покрытия.
28. Монтаж консольно-подвесных покрытий.
29. Методы монтажа подвесных покрытий.
30. Область применения подвесных покрытий в аэропортостроении.

7. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Вариант 1

Требуется запроектировать элементы висячего покрытия (ванты, опоры, анкеры) с параллельным расположением вант.

Исходные данные:

- ✓ тип здания принять по рис. 1а;
- ✓ конструкцию покрытия (плиты, утеплитель и т.д.) выбрать самостоятельно;
- ✓ пролет l и шаг t вант, снеговой район принять по табл. 7.1, в которой № варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы.

Таблица 7.1

№ вар.	l , м	t , м	Снеговой район	№ вар.	l , м	t , м	Снеговой район
1	60	2,0	V	14	84	1,2	III
2	62	1,8	IV	15	86	1,0	II
3	64	1,6	III	16	88	1,5	I
4	66	1,4	II	17	90	1,4	II
5	68	2,0	IV	18	92	1,3	I
6	70	1,8	III	19	94	1,2	II
7	72	1,6	II	20	96	1,0	I
8	74	1,4	IV	21	98	1,4	II
9	75	1,2	III	22	100	1,3	I
10	76	1,6	II	23	102	1,2	II
11	78	1,5	III	24	104	1,0	I
12	80	1,4	II	25	106	1,0	II
13	82	1,3	I	26	108	1,0	I

Вариант 2

Требуется запроектировать элементы висячего покрытия (ванты, опоры) с радиальным расположением вант.

Исходные данные:

- ✓ тип здания принять по рис. 5а;
- ✓ конструкцию покрытия (плиты, утеплитель и т.д.) выбрать самостоятельно;
- ✓ диаметр покрытия D и снеговой район принять по табл. 7.2, в которой № варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы.

Таблица 7.2

№ вар.	D , м	Снеговой район	№ вар.	D , м	Снеговой район
1	48	V	14	74	IV
2	50	IV	15	76	III
3	52	III	16	78	III
4	54	IV	17	80	II
5	56	III	18	82	III
6	58	IV	19	84	II
7	60	III	20	86	III
8	62	IV	21	88	II
9	64	III	22	90	I
10	66	IV	23	92	I
11	68	III	24	94	I
12	70	IV	25	96	I
13	72	III			

Вариант 3

Требуется запроектировать элементы консольно-подвесного покрытия: ванты, пилон, балка жесткости.

Исходные данные:

- ✓ тип здания принять по рис. 7б;
- ✓ конструкцию покрытия (плиты, утеплитель и т.д.) выбрать самостоятельно;
- ✓ вылет l и шаг b консоли, а также снеговой район принять по табл. 7.3, в которой № варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы.

Таблица 7.3

№ вар.	l , м	b , м	Снеговой район	№ вар.	l , м	b , м	Снеговой район
1	28	12	V	14	49	5	I
2	30	10	V	15	47	5	I
3	32	10	V	16	45	5	I
4	34	8	V	17	43	5	II
5	36	8	V	18	41	5	II
6	38	6	IV	19	39	6	II
7	40	6	IV	20	37	7	III
8	42	6	IV	21	35	8	III
9	44	6	IV	22	33	9	III
10	46	4	III	23	31	10	IV
11	48	4	II	24	29	11	IV
12	50	4	I	25	27	12	IV
13	48	4	II	26	25	12	V

ЛИТЕРАТУРА

1. Трущов, А.Г. Пространственные металлические конструкции / А.Г. Трущов. – М.: Стройиздат, 1983.
2. Мандриков, А.П. Примеры расчета металлических конструкций. учеб. пособие / А.П. Мандриков. – СПб.: Лань, 2012.
3. Федулов, В.К. Ангары / В.К. Федулов. – М., 2010.
4. Трофимович, В.В. Проектирование предварительно напряженных вантовых систем / В.В. Трофимович, В.А. Пермяков. – Киев: Изд-во «Будивельник», 1970.
5. Дмитриев, Л.Г. Вантовые покрытия (расчет и конструирование) / Л.Г. Дмитриев, А.В. Касилов. – Киев: Изд-во «Будивельник», 1974.
6. Кирсанов, Н.М. Висячие и вантовые конструкции / Н.М. Кирсанов. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции / В.В. Михпайлов. – М.: АСВ, 2002.
8. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. – М.: ФГУП ЦПП, 2005.
9. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ГУП ЦПП, 1988.
10. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ФГУП ЦПП, 2006.
11. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004.
12. Зюлко, Е. Монтаж стальных конструкций / Е. Зюлко, Г. Орлик. – М.: Стройиздат, 1984.
13. Торкатюк, В.И. Монтаж конструкций большепролетных зданий / В.И. Торкатюк. – М.: Стройиздат, 1985.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сортамент стальных канатов

Канаты стальные для висячих покрытий

Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетная масса 1000 м каната, кг	Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетная масса 1000 м каната, кг
1	2	3	4	5	6
Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1×37 (1+6+12+18) по ГОСТ 3064-80					
12/1,7*	84,26	719	20/2,8*	228,74	1955
12,5/1,8	94,44	806	21/3	262,51	2240
14/2	116,89	993,6	22,5/3,2	298,52	2550
15,5/2,2	141,37	1200	24/3,4	337,03	2875
17/2,4	168,17	1425	27/3,8	420,84	3590
18,5/2,6	197,29	1685			
Канат двойной свивки типа ЛК-РО конструкции 6×36 (1+7+7/7+14)+7×7(1+6) по ГОСТ 7669-80					
28	373,25	3495	45,5	991,84	9045
30	422,76	3890	49	1163,04	10600
32,5	487,48	4445	52	1304,05	11850
35,5	580,11	5290	57	1520,73	13900
36,5	646,37	5895	61,5	1782,25	16250
39	716,29	6530	64	1880,27	17148
41	796,83	7265	68	2058,71	18775
42	843,90	7965	72	2316,38	21125
Канат закрытый несущий по ГОСТ 7676-73					
50	1713,8	14695,1	60	2408,69	20636,0
52	1846,16	15828,3	65	2763,97	23673,1
54	1988,1	17043,7	70	3231,84	27671,2
55	2016,33	17280,6			

* Под чертой – диаметр проволоки в мм.

Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетная масса 1000 м каната, кг	Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетная масса 1000 м каната, кг
1	2	3	4	5	6
Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6×19 (1+6+6/6)+7×7(1+6) по ГОСТ 14954-80					
8	29,68	272,5	23	247,17	2265
8,8	35,7	327,5	25	279,27	2560
9,7	42,3	388	27	337,27	3090
11	53,58	491,5	29,5	404,55	3705
12	61,92	568	31	449,85	4125
12,5	70,91	650,5	33	497,7	4565
14	86,36	792	36	589,81	5410
15	100,48	921,5	38,5	674,88	6190
16,5	121,24	1115	41	768,45	7050
18	143,99	1320	46,5	988,71	9065
19	165,68	1520	49,5	1117,11	10250
20,5	192,11	1765	55	1379,27	12650
22	217,06	1990			

Примечания:

1. Канаты типа ТК с точечным касанием проволок.
2. Канаты типа ЛК с линейным касанием проволок.
3. Индексы О, Р означают соответственно, что проволоки в слоях каната одинакового или разного диаметра.
4. Цифровое обозначение, например 1×37 (1+6+12+18), раскрывает количество проволок в канате и формулу размещения проволок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Конструктивные решения висячих оболочек

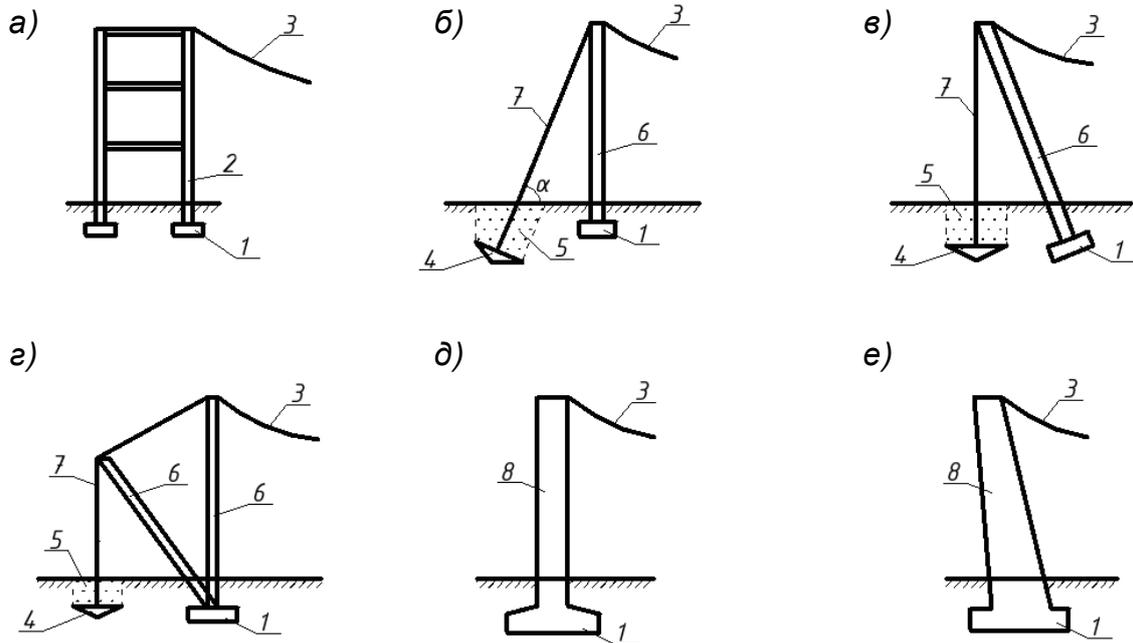


Рис. П.2.1. Схемы опорных конструкций висячих покрытий:
 а – с использованием каркаса здания, б–г – в виде вертикальных наклонных стоек и оттяжек, д–е – в виде массивных пилонов;
 1 – фундамент, 2 – каркас здания, 3 – висячее покрытие, 4 – анкерный фундамент, 5 – насыпной грунт, 6 – стойки (колонны), 7 – оттяжки

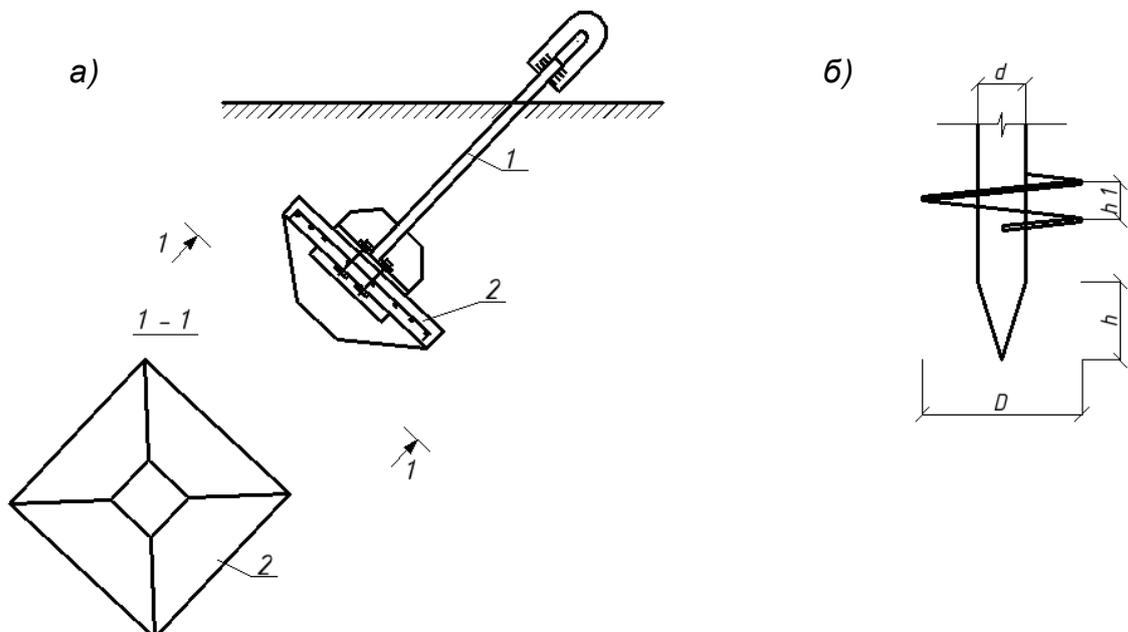


Рис. П.2.2. Схемы анкерных фундаментов:
 а – плитный фундамент, б – винтовая свая;
 1 – тяж, 2 – железобетонная плита

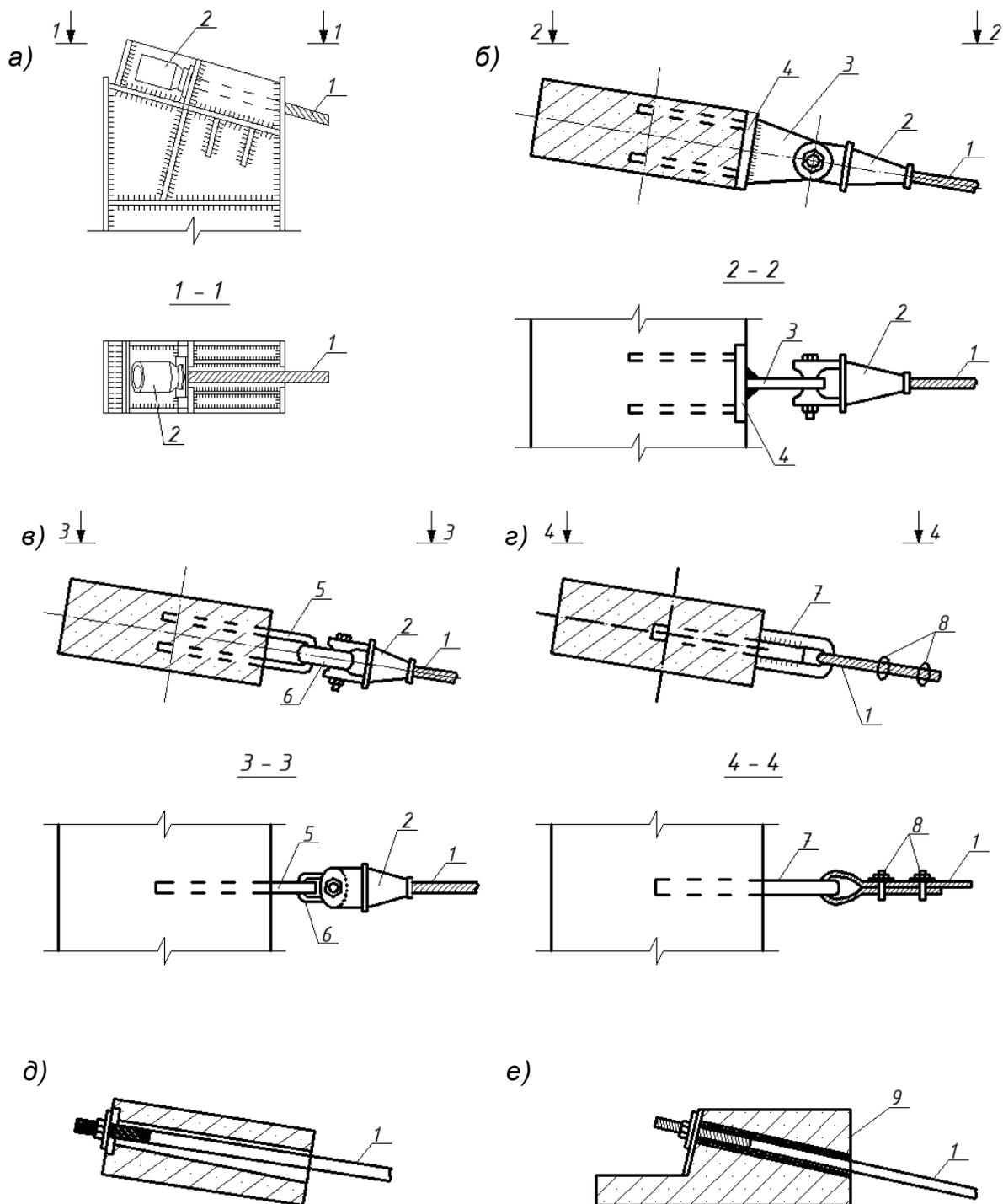


Рис. П.2.3. Узлы примыкания вант к опорным конструкциям висячих оболочек:
 а – к наружному металлическому контуру,
 б–е – к наружному железобетонному контуру;
 1 – ванты, 2 – анкерное устройство,
 3 – пластина, 4 – закладная пластина,
 5 – закладная деталь в виде петли, 6 – серьга,
 7 – вилкообразный захват,
 8 – сжимаемые болты, 9 – трубка

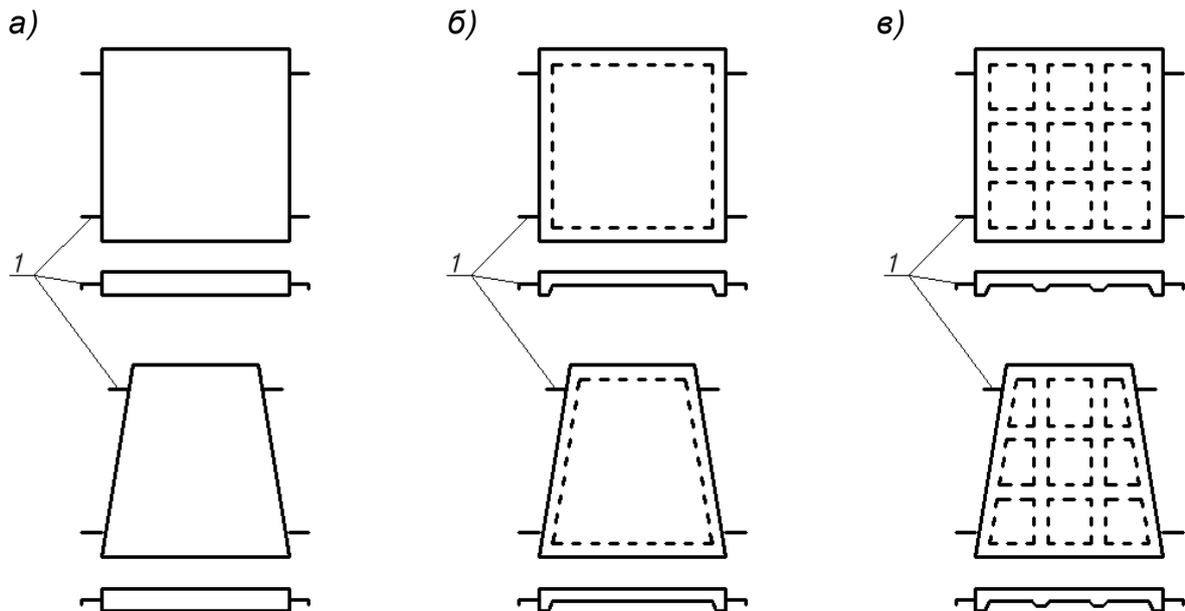


Рис. П.2.4. Плиты для висячих оболочек с параллельными и радиальными вантами:

а – плоские железобетонные, б – ребристые железобетонные, в – армоцементные;

1 – выпуски арматуры

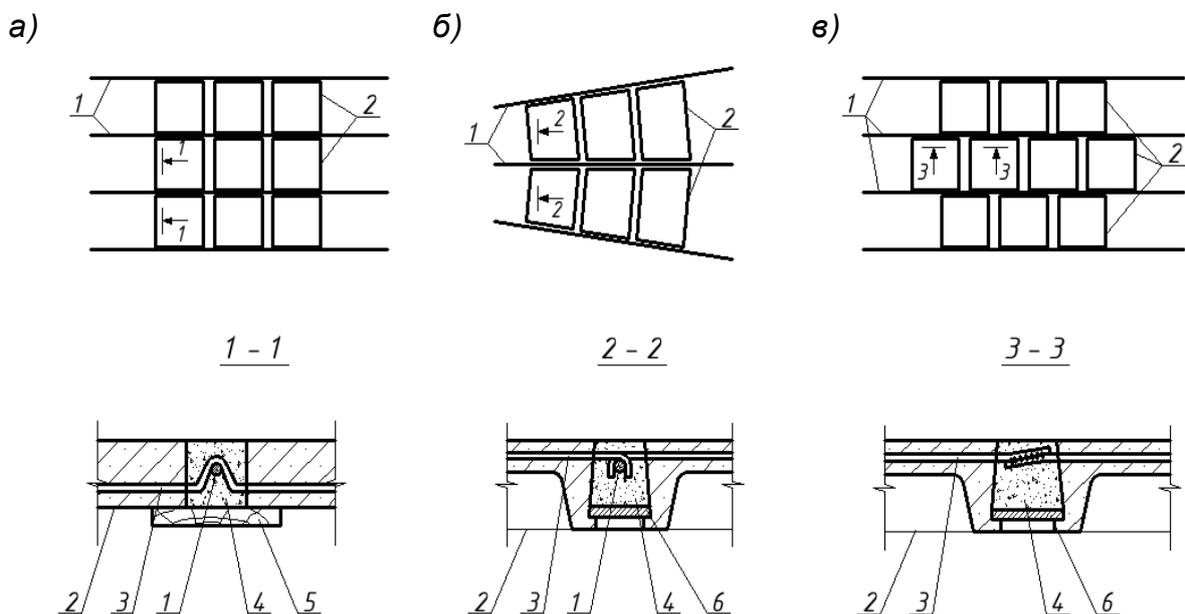


Рис. П.2.5. Раскладка плит в висячих оболочках:

а – ортогональная, б – радиальная,

в – со сбивкой на половину длины;

1 – ванты, 2 – плиты, 3 – выпуски арматуры, 4 – бетон омоноличивания,

5 – деревянная доска,

6 – листовая прокладка

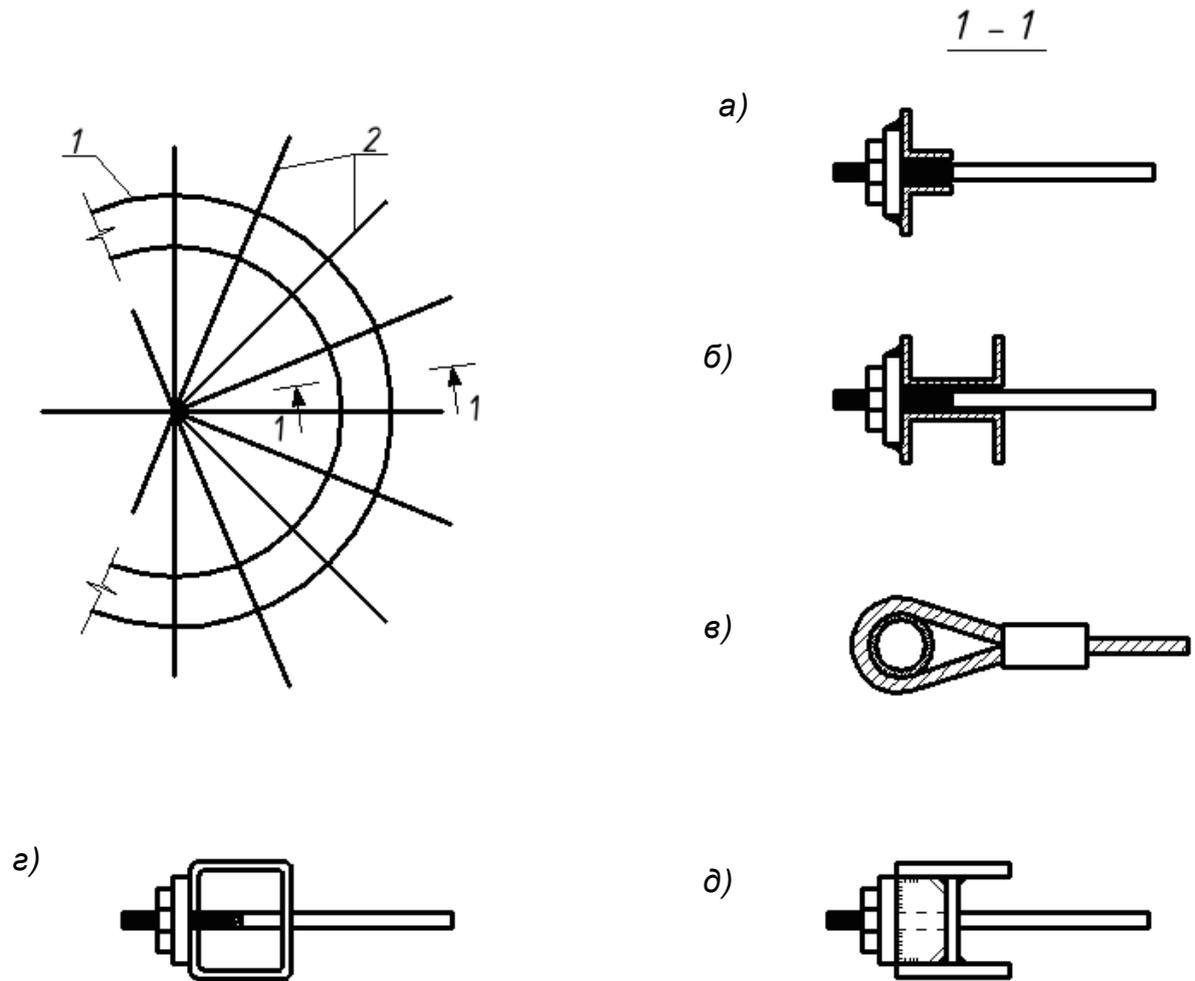


Рис. П.2.6. Конструкции центрального кольца висячих оболочек с радиальными вантами: а – из уголков, б – из швеллеров, в – из трубы, г – из гнутых квадратных труб, д – из двутавра; 1 – центральное кольцо, 2 – оси вант

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Конструктивные решения консольно-подвесных покрытий

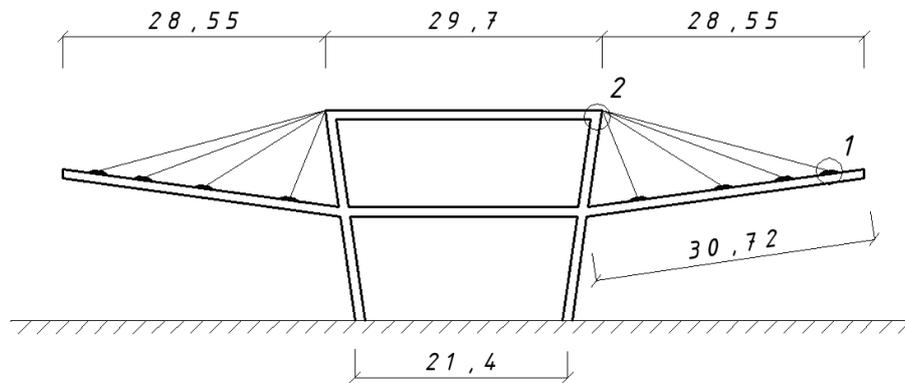
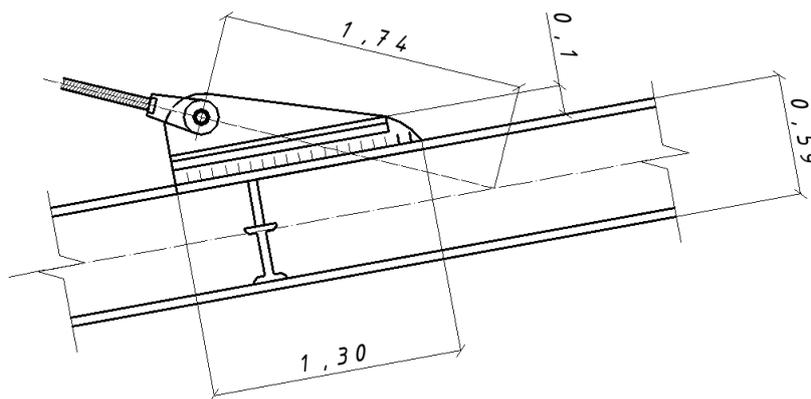
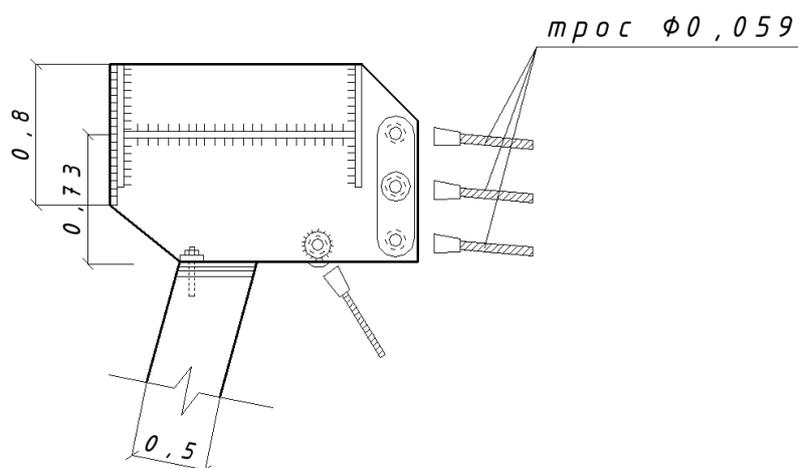
Схема покрытияУзел 1Узел 2

Рис. П.3.1. Конструкция узлов покрытия галереи аэропорта Шереметьево (размеры в м)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2. ВИСЯЧИЕ ОБОЛОЧКИ.....	6
2.1. Оболочки с параллельными вантами	6
2.2. Основы расчета висячих оболочек с параллельными вантами	10
2.3. Пример расчета висячей оболочки с параллельными вантами	12
2.4. Оболочки с радиальными вантами	14
2.5. Основы расчета висячих оболочек с радиальными вантами	16
2.6. Пример расчета висячей оболочки с радиальными вантами	18
3. ПОДВЕСНЫЕ ПОКРЫТИЯ.....	21
3.1. Основы расчета подвесных покрытий.....	24
3.2. Пример расчета подвесного покрытия.....	27
4. АНКЕРЫ. ОСНОВЫ РАСЧЕТА	30
5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОНТАЖЕ ВАНТОВЫХ СИСТЕМ	32
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	35
7. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	36
ЛИТЕРАТУРА	39
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Сортамент стальных канатов.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Конструктивные решения висячих оболочек.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Конструктивные решения консольно-подвесных покрытий.....	46