

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

СВОД ПРАВИЛ

СП. .1325800.2022

ВИСЯЧИЕ КОНСТРУКЦИИ

Правила проектирования

Издание официальное

Москва 2022

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ – АО «НИЦ «Строительство» – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 2022 г. № .../пр и введен в действие с 2023 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2022

Настоящий нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения	
2 Нормативные ссылки	
3 Термины и определения	
4 Основные положения.....	
5 Требования к материалам и изделиям	
5.1 Основные положения.....	
5.2 Стальные спиральные канаты.....	
5.3. Анкерные устройства и соединительные элементы для стальных спиральных канатов.....	
5.4 Канаты-моностренды.....	
5.5. Натяжные элементы.....	
5.6 Дополнительные требования к материалам для металлических тонколистовых (мембранных) конструкций	
5.7 Материалы для жестких нитей, контурных несущих конструкций и соединений	
6 Основные требования к расчетам.....	
6.1 Общие положения.....	
6.2 Нагрузки и воздействия.....	
6.3 Особенности проведения расчетов	
6.4 Основные положения расчетов стальных канатов.....	
7 Требования к проектированию висячих покрытий.....	
7.1 Основные положения.....	
7.2 Однослойные висячие (вантовые) системы	
7.3 Двухслойные висячие (вантовые) системы.....	
7.4 Висячие системы типа «велосипедное колесо»	
7.5 Висячие (вантовые) сети	
8 Мембранные (тонколистовые) висячие покрытия.....	
8.1 Основные положения.....	

8.2 Мембранные висячие сплошные оболочки различных конструктивных систем.....	
8.3 Ленточные покрытия.....	
9 Комбинированные системы	
9.1 Основные положения.....	
9.2 Арочно-вантовые системы	
9.3 Шпренгельные системы	
9.4 Подвесные и консольные системы.....	
9.5 Конструкций покрытий над трибунами стадионов.....	
Приложение А Технические характеристики стальных канатов.....	
Приложение Б Модули упругости стальных канатов	
Приложение В Технические характеристики анкерных устройств	
Библиография	

Введение

Настоящий свод правил разработан с учетом положений федеральных законов от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и содержит требования к расчету и проектированию висячих конструкций покрытий.

Свод правил разработан авторским коллективом АО «НИЦ «Строительство» – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (руководитель темы – д-р техн. наук *П.Г. Еремеев*, д-р техн. наук *И.И. Ведяков*, канд. техн. наук *Д.Б. Киселев*).

С В О Д П Р А В И Л**ВИСЯЧИЕ КОНСТРУКЦИИ**
Правила проектирования

Suspended structures. Design requirements

Дата введения – 2023—...—...

1 Область применения

1.1 Настоящий свод правил распространяется на проектирование конструкций висячих (вантовых), мембранных (тонколистовых), комбинированных металлических конструкций покрытий зданий и сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного назначения.

1.2 Требования настоящего свода правил не распространяются на проектирование транспортных сооружений (мосты, путепроводы, эстакады, виадуки, подвесные переходы трубопроводов и т. п.).

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 9.307-2021 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля

ГОСТ 1050-2013Metalloпродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия

ГОСТ 2224-93 Коуши стальные для стальных канатов. Технические условия

ГОСТ 3063-80 Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1х19(1+6+12). Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 3064-80 Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1х37 (1+6+12+18). Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 3090-73 Канаты стальные. Канат закрытый несущий с одним слоем зетобразной проволоки и сердечником типа ТК. Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 3241-91 Канаты стальные. Технические условия

ГОСТ 4543-2016Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия

ГОСТ 4784-2019 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки

ГОСТ 5582-75 Прокат тонколистовой коррозионно-стойкий, жаростойкий и жаропрочный. Технические условия (с Изменениями N 1 - 4)

ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020. Здания и сооружения. Общие термины

ГОСТ 7372-79 Проволока стальная канатная. Технические условия (с Изменениями N 1 - 4)

ГОСТ 7675-73 Канаты стальные. Канат закрытый несущий с одним слоем клиновидной и одним слоем зетобразной проволоки и сердечником типа ТК. Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 7676-73 Канаты стальные. Канат закрытый несущий с двумя слоями клиновидной и одним слоем зетобразной проволоки и сердечником типа ТК. Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 13726-97 Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия (с Изменением N 1)

ГОСТ 18899-73 Канаты стальные. Канаты закрытые несущие. Технические условия (с Изменениями N 1 - 6)

ГОСТ 18901-73 Канаты стальные. Канат закрытый несущий с двумя слоями зетобразной проволоки и сердечником типа ТК. Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент

ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия (с Изменением N 1)

ГОСТ 21631-76 Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)

ГОСТ 23118-2019 Конструкции стальные строительные. Общие технические условия

ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 27772-2015 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия (с Изменением N 1)

ГОСТ Р 55374-2012 Прокат из стали конструкционной легированной для мостостроения. Общие технические условия

ГОСТ Р 58132-2018 (EN 10264-1:2012) Проволока стальная и изделия из нее. Проволока стальная канатная. Общие требования

ГОСТ Р 58133-2018 (EN 10264-2:2012) Проволока стальная и изделия из нее. Проволока стальная канатная. Проволока холоднотянутая из нелегированной стали для канатов общего назначения

ГОСТ Р 58134-2018 (EN 10264-3:2012) Проволока стальная и изделия из нее. Проволока стальная канатная. Проволока круглая и фасонная из нелегированной стали для эксплуатации в тяжелых условиях

СП 2.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты

СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» (с изменением № 2)»

СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» (с изм. № 1, № 2, № 3)

СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии» (с изм. № 1, № 2, № 3)

СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы» (с изм. № 1, № 2, № 3)

СП 128.13330.2016 «СНиП 2.03.06-85 Аллюминиевые конструкции»

СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» (с изм. № 1, № 2)

СП 387.1325800.2018 «Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования» (с изм. № 1, № 2)

СП 494.1325800.2020 «Конструкции покрытий пространственные металлические. Правила проектирования».

Примечание – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины по ГОСТ 27751, ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020, СП 16.13330, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 болт-шарнир: Крепежная деталь в виде цилиндрического стержня, предназначенная для обеспечения свободного вращения узла.

3.2 вантовая конструкция: Геометрически неизменяемый тип висячей конструкции, состоящий из несущих растянутых прямолинейных пролетных элементов (вант) и опорных конструкций, воспринимающих их реакции.

3.3 висячая конструкция: Строительная конструкция, в которой несущие провисающие, преимущественно гибкие элементы (стальные тросы, пряди из высокопрочной проволоки, круглые стержни, мембраны и т. п.), перекрывающие пролёт, работают на растяжение.

3.4 вантовая ферма: Предварительно напряженная система, состоящая из двух, соединенных друг с другом гибких поясов.

3.5 канат спиральный: Пучок из минимум двух слоев проволоки, свитых спирально вокруг центральной проволоки.

3.6 канат спирально-прядевый: Спиральный канат, содержащий лишь круглую проволоку

3.7 канат закрытый спиральный: Спиральный канат из одного или более внешних слоев фасонной проволоки и внутренних слоев круглой проволоки

3.8 канат «моностренд»: Система параллельных стальных прядей в пластиковой оболочке

3.9 комбинированные висячие конструкции: Комбинированные системы, состоящие из растянутых вант (нитей) и сжато-изогнутых элементов

3.10 мембранные (тонколистовые) висячие конструкции: металлическая тонколистовая оболочка, закрепленная на опорном контуре

3.11 нить: Гибкий провисающий элемент, работающий на растяжение и несущий поперечную нагрузку в пролете.

3.12 нить гибкая: Нить с нулевой изгибной жесткостью, испытующая только растяжение.

3.13 нить жесткая: Нить, конечной изгибной жесткости, работающая в основном на растяжение, частично воспринимающая изгибающие моменты.

3.14 опорный контур: Конструктивный элемент, в котором закреплены элементы пролетной конструкции; может быть жестким, т.е. способным работать на сжатие, изгиб или кручение, или гибким, выполненным в виде элемента с пренебрежимо малой жесткостью.

3.15 струна: Прямолинейная нить.

3.16 «Тенсегрити» – система: Совокупность взаимосвязанных элементов, работающих только на растяжение или сжатие, устойчивость и жесткость которой, обеспечивается предварительным напряжением и самоуравновешиванием этих элементов.

3.17 трос: Стальной канат.

3.18 трос-подбор: Гибкие растянутые элементы опорных конструкций вантовых систем.

4 Основные положения

4.1 Висячие конструкции различаются:

– *по типу системы и принципу работы:*

- а) однослойные и двухслойные висячие (вантовые) системы;
- б) висячие системы типа «велосипедное колесо»;
- в) висячие сети;
- г) мембранные (тонколистовые) висячие покрытия;
- д) комбинированные системы (арочно-вантовые, шпренгельные, подвесные, консольные, «тенсегрити»-системы);

– *по конфигурации плана:*

от простейших геометрических фигур (квадрат, прямоугольник, треугольник, круг, овал и т. д.) до более сложного комбинированного очертания;

– *по форме поверхности:*

- а) плоские покрытия;
- б) нулевой гауссовой кривизны (цилиндрическая);
- в) положительной гауссовой кривизны (сферическая, в виде эллиптического параболоида);
- г) отрицательной гауссовой кривизны (седловидная, шатровая);
- д) составные, в виде комбинации оболочек с одинаковой или различной формой поверхности.

4.2 При проектировании следует учитывать, что форма поверхности и очертание плана покрытия должны быть взаимоувязаны и выбор их тщательно проанализирован.

4.3 Выбор конструктивных решений висячих конструкций покрытий зданий и сооружений следует проводить, исходя из технико-экономической целесообразности их применения в конкретных условиях строительства с учетом архитектурных, технологических и производственных требований, максимального снижения их материало-, трудо-, энергоемкости и стоимости.

4.4 Область применения висячих конструкций:

- покрытия целевых спортивных залов (плавательные бассейны, крытые манежи, катки, теннисные корты и т.п);
- покрытия универсальных театральных и спортивно-концертных комплексов, магазинов, рынков, выставочных павильонов и т.п;
- покрытия стадионов и козырьков над трибунами стадионов,
- покрытия инженерных сооружений (ангары, стоянки крупногабаритной техники, резервуары, шламбассейны, градирни).

Важный фактор развития висячих конструкций – возрастающая потребность в сооружениях с большим внутренним пространством, свободным от промежуточных опор, для проведения массовых собраний, спортивных и культурных мероприятий, выставок и т.п.

4.5 Висячие конструкции рекомендуется применять при строительстве в труднодоступных и северных районах, районах с повышенной сейсмичностью.

4.6 Применение висячих конструкций определяет:

- экономию металла вследствие пространственной работы и возможности полного использования несущей способности высокопрочных сталей в растянутых элементах;
- сокращение сроков строительства, снижение трудоемкости и стоимости их возведения;

- снижение стоимости нижележащих конструкций и минимизацию транспортных расходов.

5 Требования к материалам и изделиям

5.1 Основные положения

5.1.1 Несущие висячие конструкции следует выполнять из материалов и изделий, обладающих необходимыми эксплуатационными и технологическими свойствами для обеспечения их долговечности согласно расчетному сроку службы сооружения или межремонтному сроку его эксплуатации, а также удовлетворяющих противопожарным требованиям.

5.1.2 Материалы и изделия следует выбирать в зависимости от уровня ответственности конструкций, условий эксплуатации, расчетных температур, воздействия динамических или вибрационных нагрузок, технологии изготовления и монтажа конструкций.

5.1.3 Материалы и изделия для несущих висячих конструкций и соединений следует принимать в соответствии с требованиями СП 16.13330, СП 35.13330, СП 128.13330.

5.1.4 Требования к материалам для отливок и поковок приведены в СП 494.1325800.

5.2 Стальные спиральные канаты

5.2.1 Стальные спиральные канаты различаются по конструкции, форме поперечного сечения, физико-механическим характеристикам проволок. Технические характеристики стальных спиральных канатов приведены в приложении А.

5.2.2 Для несущих элементов висячих систем следует применять стальные спиральные канаты по ГОСТ 3241 следующих типов:

- однопрядные спиральные канаты по ГОСТ 3063, ГОСТ 3064, диаметром до 30 мм, используются в качестве вспомогательных элементов;

- закрытые спиральные канаты диаметром до 180 мм (используются в качестве основных элементов), состоящие из одного (полузакрытый) по ГОСТ 18899 или более внешних слоев фасонной проволоки и внутренних слоев круглой проволоки (ГОСТ 3090; ГОСТ 7675, ГОСТ 7676, ГОСТ 18901);

- пучки из параллельных проволок, скрепленных между собой сжимами с определенным шагом, которые изготавливают на строительной площадке.

5.2.3 Тип и параметры каната следует выбирать в зависимости от особенностей эксплуатации сооружения (внутри или снаружи здания или сооружения), конструктивных решений, величины расчетных усилий, наличия узлов сопряжений, требований по коррозионной стойкости, технологии монтажа.

5.2.4 Спиральные канаты, состоят из центральной проволоки, на которую навиты несколько слоев проволок, свитых в противоположных направлениях. Все проволоки круглые по ГОСТ 7372.

Закрытые и полузакрытые канаты имеют сердечник из круглых проволок по ГОСТ 7372, вокруг которого навиты ряды проволок фасонного (зетобразного, омегаобразного или клиновидного) сечения, по ГОСТ Р 58132, ГОСТ Р 58133, ГОСТ Р 58134, обеспечивающих их плотное прилегание. Слои проволок свиты в противоположных направлениях. Закрытые спиральные канаты из оцинкованной проволоки имеют наиболее высокий модуль упругости и усталостную прочность, жесткость при растяжении и кручении, сопротивление при поперечном давлении, повышенную коррозионную стойкость.

5.2.5 Канаты из параллельных круглых проволок характеризуются высокой прочностью, продольной жесткостью (модуль упругости каната близок к модулю упругости проволоки), отсутствием ползучести при эксплуатации и необходимостью в предварительной вытяжке. К недостаткам этих канатов следует отнести повышенную изгибную жесткость, осложняющую перевозку, монтаж и устройство перегибов в опорных узлах.

Такие канаты собирают непосредственно на монтаже или на полигоне на строительной площадке.

5.2.6 Проволоку для канатов выполняют из высококачественной оцинкованной стали. Вся проволока должна иметь одно и то же значение прочности. В целях экономии металла следует использовать проволоку максимальных по прочности маркировочных групп, но не более 1764 Н/мм².

5.2.7 Диаметр круглой проволоки d назначают от 0,7 до 7,0 мм; высоту профиля фасонной проволоки h назначают от 3,0 до 7,0 мм. По условиям защиты от коррозии не следует применять канаты из проволок диаметром менее 2,4 мм. Это ограничение не распространяется на проволоки заполнения и сердечника. Во всех случаях следует применять канаты из проволок максимально возможного размера.

Антикоррозионную защиту проволок выполняют согласно СП 28.13330 (для сооружений на открытом воздухе) или другими методами, соответствующими сроку службы и условиям работы сооружения.

5.2.8 Минимальную разрывную прочность каната следует определять по нормативным документам на конкретное изделие. При проектировании следует учитывать:

- минимальная (фактическая) разрывная прочность каната оказывается от 10 % до 25 % ниже агрегатной, равной произведению предела прочности проволоки на площадь сечения троса нетто, ввиду неравномерного распределения усилий между проволоками и их взаимного проскальзывания;
- величина остаточных деформаций каната и соответствующее поперечное обжатие, приводящее к ослаблению хомутов и других креплений, определяется шагом свивки (углом закручивания) и числом проволок.

5.2.9 Параметры и минимальную разрывную прочность канатов следует определять по стандартам или техническим условиям на конкретное изделие. Для сведения основные данные приведены в приложении А.

5.2.10 Модуль упругости канатов и пучков параллельных проволок следует определять по стандартам или техническим условиям на конкретное

изделие, а также по СП 35.13330. Сокращенные технические данные по модулю упругости стальных канатов приведены в приложении Б. Для достижения максимального модуля упругости спиральных канатов, следует использовать канаты с большим шагом свивки и малым числом проволок.

При проектировании следует учитывать, что величины модуля упругости даны для канатов, предварительно вытянутых усилием не менее 60 % разрывного усилия для каната в целом.

5.2.11 Канаты должны быть многократно предварительно вытянуты на натяжных стендах, пока кривые нагрузка/удлинение для двух последовательных циклов нагружения не совпадут. Значение предварительного усилия вытяжки следует принимать равным 1,2 максимальных расчетных усилий или половине разрывного усилия каната в целом. При многократной предварительной вытяжке канатов следует одновременно определять модули упругости в диапазоне усилий, соответствующих постоянной и полной нагрузке на конструкцию для учета этих значений в расчетах.

5.2.12 Канаты после вытяжки на стане под нагрузкой следует маркировать для установки концевых заделок. Допуски по длине каната с концевыми элементами, после предварительной вытяжки, не должны превышать $\pm ((L/1000) + 5 \text{ мм})$, где L – длина каната, мм, или 0,01 %.

При проектировании необходимо учитывать, что любая ошибка в длине каната приводит к разнице между фактическими и расчетными усилиями в элементах системы:

- в канате более коротком возрастают усилия предварительного напряжения и возможна его перегрузка;
- в канате более длинном, уменьшаются усилия предварительного напряжения, они не полностью включаются в работу, снижается жесткость конструкции.

5.2.13 Канаты должны поставляться с антикоррозионной защитой (оцинкование проволок горячим способом, лакокрасочные покрытия или

смазка проволок, покрытие каната антикоррозионным слоем смазки, пластмассовой или стальной оболочкой с нагнетанием в нее битума, цементного раствора и т.п.).

Выбор типа и толщины антикоррозионного покрытия следует производить в зависимости от степени агрессивного воздействия окружающей среды. При высокой степени агрессивности следует предусматривать дополнительную защиту канатов от коррозии, которая, как правило, наносится вручную после монтажа конструкций. Для обеспечения долговременной надежности канатов следует предусматривать натурные обследования не позднее пяти лет после первоначального нанесения покрытия. Локальные обесцвеченные участки требуют удаления покрытия и его обновления. Через 10 – 15 лет по результатам обследования следует наносить антикоррозионное покрытие на всю поверхность каната заново.

5.2.14 При определении проектной степени огнестойкости необходимо учитывать, что при воздействии огня снижается разрывная прочность стальных канатов, одновременно уменьшаются значения предварительного напряжения и усилия в канате, ввиду увеличения стрелы его провиса за счет температурных деформаций.

5.2.15 В строительных конструкциях следует применять канаты полной заводской готовности комплектной поставки, которая предусматривает вытяжку каната троса, его разметку и разрезку, постановку концевых стальных анкеров. На канат следует наносить продольную ось, для исключения кручения каната при навеске, и поперечную маркировку, обеспечивающую проектное положение сжимов.

5.2.16 В технических условиях на поставку канатов необходимо указывать:

- его конструкцию, номинальный и максимальный диаметры (без нагрузки), площадь поперечного сечения, массу погонного метра;
- тип, количество и размер проволок (диаметр/высота);
- минимальное и суммарное разрывные усилия;

- общую длину канатов одного диаметра без приложения усилий, при разметке под усилием вытяжки и температуре 20⁰С, точность разметки;

- модуль упругости каната после предварительной вытяжки, его осевую и изгибную жесткости, ползучесть на расчетной длине при нагрузке 50 % разрывного усилия через 50 лет;

- требования по антикоррозионной защите проволок (минимальная оцинковка проволок, г/м²), тип смазки для нанесения наружной изоляции каната при монтаже на строительной площадке (л/м² каната);

- гарантируемый срок работоспособности поставляемых изделий.

5.2.17 Технические условия к канатам должны содержать следующие требования:

- канат должен иметь по всей длине одинаковую кратность шага свивки; в нем не должно быть оборванных, перекрученных и заломанных проволок. На поверхности каната не должно быть выступающих или запавших проволок, поверхность проволок каната должна быть без трещин и ржавчины; на проволоке не должно быть срезанных участков, превышающих предельное отклонение по диаметру или профилю проволоки;

- при свивке каната, проволоки должны быть равномерно натянуты. Все проволоки в канате должны плотно прилегать к проволокам нижележащих слоев. Зетобразные проволоки в слое должны прилегать друг к другу, образуя соединения замком. Между фасонными проволоками допускается зазор, не нарушающий замка каната;

- канат должен иметь равномерный диаметр по всей длине. Предельное отклонение диаметра каната от его номинального диаметра должно быть менее ± 1 %;

- канат следует изготавливать проектной длиной, при этом его масса, как правило, не должна превышать 30 т. При измерении длины должны учитываться воздействия прилагаемой нагрузки, ползучесть каната, вытяжка анкера и изменения температуры;

- суммарное разрывное усилие всех проволок в канате должно быть больше расчетного значения, указанного в соответствующем нормативном документе, при заданном временном сопротивлении проволоки разрыву;

- предельные отклонения модуля упругости каната после предварительной вытяжки до замыкания петли гистерезиса не должны превышать $\pm 3 \%$;

- ползучесть канатов через 50 лет эксплуатации на длине до 200 м при нагрузке 50 % разрывного усилия должна быть не более 30 мм;

- правила приемки, методы испытаний, упаковку, маркировку, транспортирование и хранение канатов следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 18899.

5.2.18 Диаметр канатов и их количество следует определять исходя из требуемой несущей способности с учетом ограничений по габаритам элементов, в которых анкеруют канаты.

При проектировании следует учитывать:

- уменьшение диаметра каната и его веса, облегчает монтаж;
- увеличение количества канатов существенно усложняет узлы заделки анкером в пилоне и узлы объединения канатов сжимами и равномерное включение в работу каждого элемента.

5.2.19 Стальные канаты и детали должны храниться в сухом и хорошо проветриваемом помещении. Между изделиями, сложенными в штабель, должны быть деревянные прокладки.

5.3 Анкерные устройства и соединительные элементы для стальных канатов

5.3.1 Концы канатов следует оснащать анкерными устройствами, равнопрочными разрывному усилию каната, обеспечивая надежную заделку канатов на этапах монтажа и эксплуатации сооружения.

5.3.2 Тип анкерного устройства назначают в зависимости от типа и диаметра канатов; конструкции, с которой они должны соединяться; с учетом

исключения усталостных явлений, в результате вибрации от воздействия ветра. На одном из концов каната следует предусмотреть анкерное устройство с возможностью регулировки длины каната при монтаже. При необходимости эти устройства используют для предварительного натяжения канатов.

5.3.3 Для крепления анкерного устройства следует использовать муфту с коническим стаканом (рисунок 5.1), с последующей заливкой стакана специальным сплавом. На внутренней поверхности муфт предусматривают продольные выступы для исключения проворачивания каната.

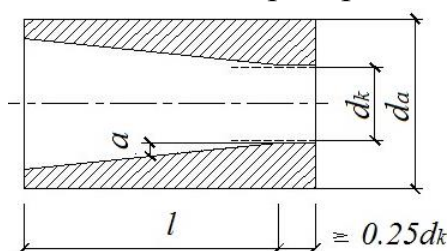


Рисунок 5.1 – Схема анкерного устройства с коническим стаканом

Проектные параметры для заделки спирального каната:

$$5^\circ < \alpha < 9^\circ; \quad d_a = (0,3 R_u / R_{un} + 1,9) d_k; \quad l \geq 5 d_k, \quad (5.1)$$

где: d_k – номинальный диаметр каната, R_{un} – предел прочности проволоки, R_u – расчетное сопротивление материала анкера.

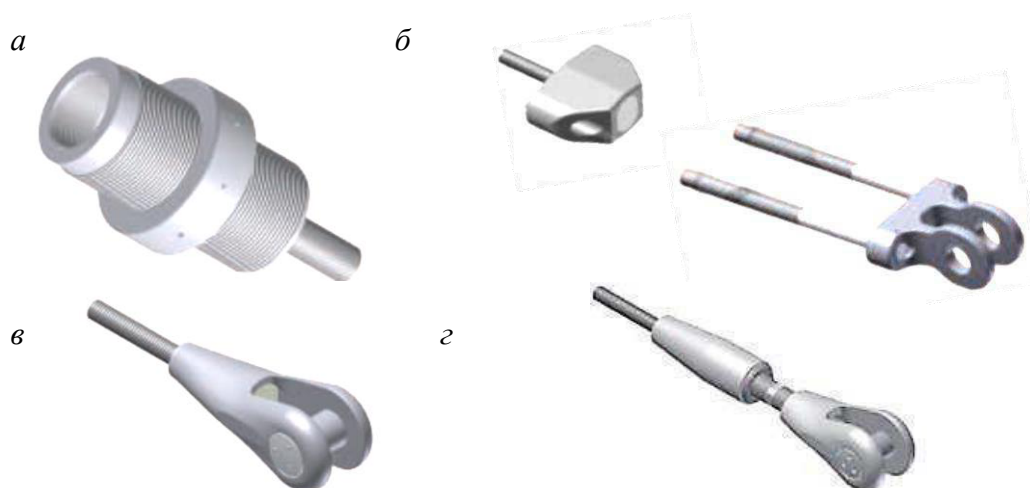
Проектные параметры для заделки каната из параллельных проволок:

$$4^\circ < \alpha < 7^\circ; \quad d_a > 2,5 d_k; \quad l > 3,5 d_k, \quad (5.2)$$

5.3.4 Муфту выполняют в виде цилиндрического анкера с внутренней или наружной резьбой, фигурных элементов с анкерными болтами, вилкообразных анкеров с проушинами и т.п. (рисунок 5.2), которые позволяют монтировать и натягивать канат до необходимого усилия. Анкерные устройства с размерами приведены в приложении В. Анкеры должны обеспечивать требования по прочности, сопротивлению усталости и антикоррозионным свойствам.

5.3.5 При проектировании следует учитывать, что в случае изготовления канатных элементов в условиях строительной площадки необходимо:

- расплести конец каната, очищенные от смазки и обезжиренные проволоки сформировать в «щетку», которую поместить во внутреннюю полость муфты, центрируя «щетку» с помощью специального зажима;
- взаимно выровнять анкер и канат, предотвратить смещение проволок, для исключения неравномерного нагружения проволок;
- фиксировать концы стальных канатов в стаканах муфт заливкой цинковым сплавом ЦАМ9-1,5Л прочностью от 220 до 260 Н/мм² и твердостью по Бринеллю от 80 до 90 единиц. Допускается использование свинца или сплава свинца с цинком. Сила сцепления между проволокой и сплавом должна превышать разрывное усилие проволоки;
- обеспечить температуру материала заливки в интервале 350⁰С – 460⁰С;
- анкер следует предварительно нагреть до температуры 350⁰С, для полного заполнения конуса анкера материалом заливки.



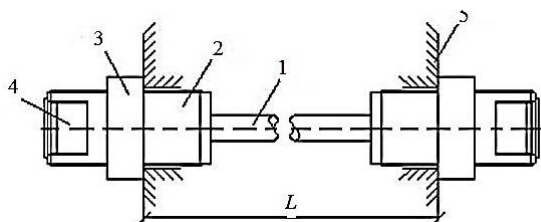
*а – цилиндрический анкер; б – анкер-блок с траверсой
в – вилкообразный анкер; г – регулируемый вилкообразный анкер*

Рисунок 5.2 – Анкерные устройства

5.3.6 Для изготовления деталей анкеров стальных спиральных канатов используют сталь по ГОСТ 19281 или ГОСТ 1050 в нормализованном состоянии. Рекомендуется изготавливать анкеры из литой стали с модифицированными свойствами или из поковок ($R_{yn} \sim 550$ МПа; $R_{un} \sim 700$ МПа). Анкеры оцинковывают горячим способом минимальной толщиной 0,150 мм. Изделия испытывают на наличие поверхностных дефектов с помощью магнитопорошковой дефектоскопии или ультразвуковым

контролем, с определением относительных перемещений проволок и конуса анкера при фактическом разрывном усилии.

5.3.7 Натяжение канатов следует выполнять домкратами: в цилиндрических анкерах с наружной резьбой, на нее навинчивается гайка (рисунок 5.3). Изменением положения гайки, упирающейся во фланец упора, регулируется длина каната (в пределах до ± 350 мм, на каждом из его концов). Аналогичным образом выполняют натяжение каната с фигурными элементами с анкерными болтами. В этом случае гайки упираются в торец анкерного элемента.



*1 – трос; 2 – цилиндрический анкер; 3 – гайка;
4 – внутренняя резьба для установки домкрата; 5 – упор*

Рисунок 5.3 – Натяжение канатов с цилиндрическими анкерами

5.3.8 Для крепления подвесок и передачи усилий на основные канаты применяют сжимы и прижимные накладки из литой стали (рисунок 5.4), которые объединяют болтами с контролируемым натяжением, для исключения их проскальзывания. Сжимы (прижимные накладки) должны быть оцинкованы горячим способом толщиной до 0,15 мм. В желобах толщину слоя цинка увеличивают напылением до 1 мм. Сжимы следует проектировать таким образом, чтобы предотвратить скопление влаги в местах сопряжения с канатом.

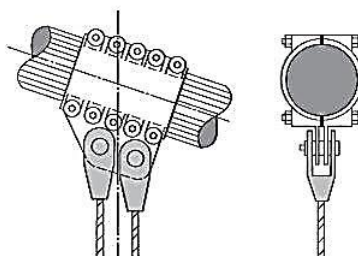


Рисунок 5.4 – Узел сопряжения основного каната с подвесками

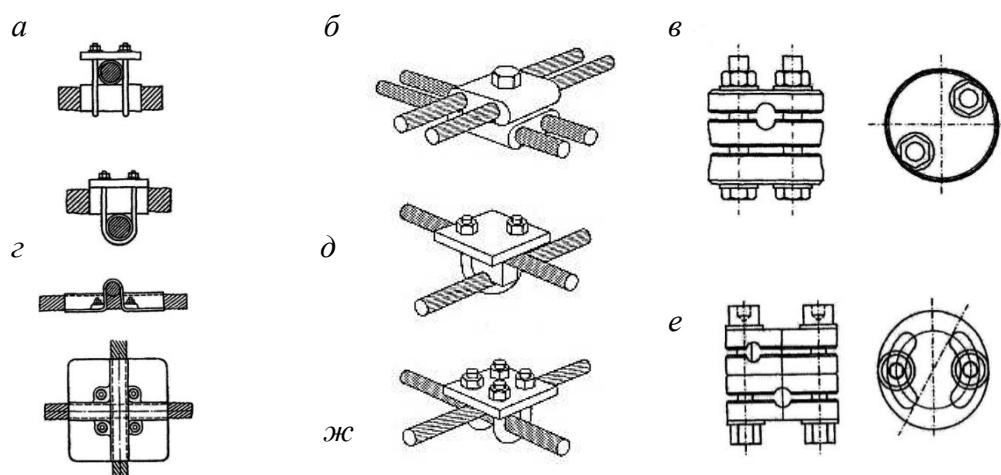
5.3.9 У торцов муфт, анкеров, сжимов (в месте выхода каната) следует выполнять скругления, а продольный желоб в сжимах и прижимных

накладках выполнять криволинейным для уменьшения изгибных напряжений в месте выхода каната. Радиус желоба должен быть в 30 раз больше диаметра каната. Если канат расположен по оси симметрии сжима, имеет мягкий металлический сердечник или цинковое покрытие толщиной не менее 1 мм, допускается уменьшение радиуса желоба до величины в 20 раз больше диаметра каната. Перегибы канатов из пучков параллельных проволок не допускаются.

5.3.10 Между канатом и деталями анкеров, отклоняющих устройств, сжимов, хомутов подвесок и других элементов следует использовать прокладки из алюминия марок АД и АД1 по ГОСТ 4784, в виде лент по ГОСТ 13726 толщиной не менее 1 мм для обеспечения необходимого трения между канатом и указанными устройствами и исключения проскальзывания канатов. Для исключения электрохимической коррозии, контактирующие с алюминием стальные канаты и стальные детали указанных выше устройств, защищают покрытиями из цинка или кадмия толщиной не менее 20 мкм.

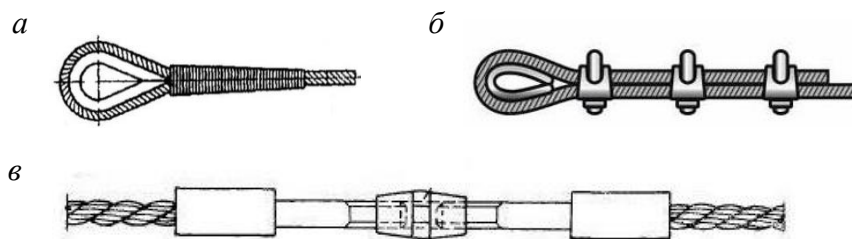
5.3.11 Канаты в местах их пересечения закрепляют специальными хомутами, штампованными деталями или литыми элементами с пазами (рисунок 5.5). Конструкция узлов пересечения канатов должна обеспечивать их совместную работу в нормальном и тангенциальном направлениях к поверхности вантовой системы.

5.3.12 Допускается применять концевое крепление тросов в виде петли с оплеткой (рисунок 5.6, а). Для обеспечения равномерной передачи усилия в соединении в петлю следует вкладывать коуш по ГОСТ 2224. Вместо оплетки возможно применение сжимов (рисунок 5.6, б). Для корректировки длины тросов при монтаже и их предварительного натяжения возможно применение стяжных муфт с запрессовкой троса муфтой из легкого металла (рисунок 5.6, в).



*а, д, ж – болтовые хомуты; б, г –; штампованные детали;
в – литые шайбы с пазами (ортогональное пересечение канатов);
е – литые шайбы с пазами (пересечение канатов под углом)*

Рисунок 5.5 – Узлы крепления в местах пересечения тросов



*а – петля с коушем и оплеткой; б – петля с коушем и сжимами;
в – сращивание тросов по длине с обжимной муфтой*

Рисунок 5.6 – Варианты концевых креплений и соединений тросов

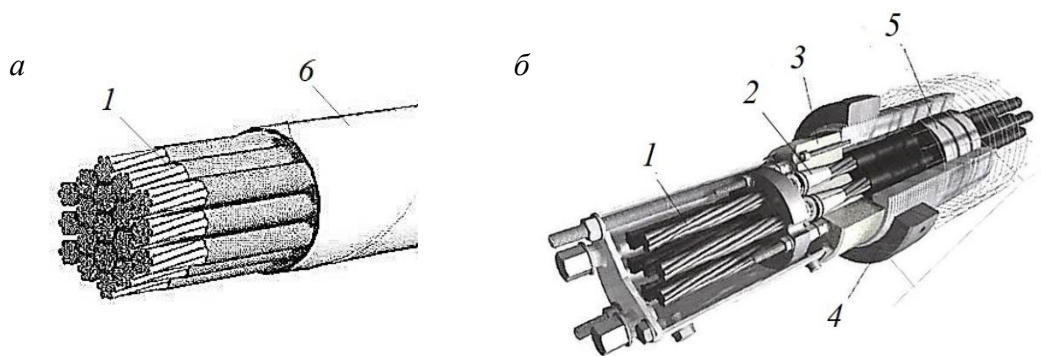
5.4 Канаты-моностренды

5.4.1 Канаты «моностренды» (рисунок 5.7) формируют из параллельных прядей, закрепленных между анкерами. Основной элемент – семипроволочная прядь диаметром 15,7 мм с пределом прочности на разрыв 1860 Н/мм², которая помещена в оболочку из полиэтилена высокой плотности. Пустоты между проволоками и пространство до полуприлегающей оболочки заполнены микрокристаллическим нефтяным парафином.

5.4.2 Следует учитывать, что канаты «моностренды» характеризуются:

- индивидуальной установкой, анкерровкой и натяжением пряди;
- возможностью демонтажа и замены пряди;

- высокой антикоррозионной защитой;
- высокой усталостной прочностью;
- возможностью учета погрешности монтажа покрытия, за счет нарезки канатов по месту;
- сокращением сроков монтажа и исключением необходимости применения тяжёлого кранового оборудования.



*а – общий вид каната в сборе; б – анкерное устройство
1 – прядь; 2 – цанга; 3 – анкерный блок; 4 – муфта; 5 – блок жесткости; 6 – оболочка*
Рисунок 5.7 – Канат «моностренд»

5.4.3 Канаты «моностренды»:

- состоят из различного количества прядей в зависимости от расчетного усилия. Типовые решения включают от 4 до 330 параллельных прядей с минимальным разрывным усилием каната в целом от 1116 до 92070 кН;
- пряди анкеруются индивидуально при помощи цанг, обладающих высокой усталостной прочностью;
- пучок прядей заключается в общую наружную оболочку из полиэтилена высокой плотности с цветным наружным слоем. Требуемая длина трубы для каждой ванты формируется сваркой плавлением элементов длиной 12 метров;
- сталь монопрядей защищается от коррозии тремя барьерами (оцинковка проволоки, индивидуальная оболочка из полиэтилена высокой плотности, заполнение (инъектирование) парафином пустот между проволоками и пространства до полуприлегающей оболочки). Их долговечность превышает 100 лет.

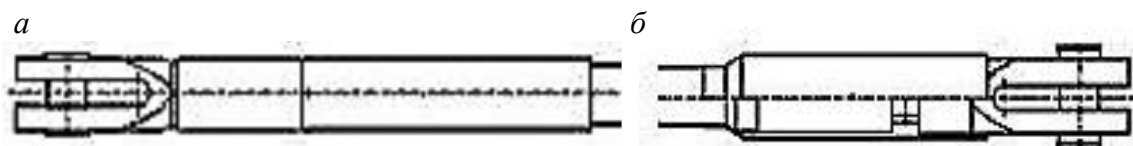
5.4.4 Основные элементы анкера каната «моностренда» (рисунок 5.7, б):

- анкерный блок – стальная цилиндрическая плита с коническими отверстиями для монопрядных цанг;
- трехлепестковые цанги, закрепляющие пряди в конических отверстиях анкерного блока, обеспечивающие высокую статическую и усталостную прочность;
- анкерная труба, образующая камеру за анкерным блоком, для изоляции и защиты концов прядей с удаленной оболочкой. Анкерную трубу выполняют в двух вариантах, в зависимости от типа анкера – фиксированного (труба оснащена фланцем, установленным на опорной плите) или регулируемого (труба с наружной резьбой, снабжена муфтой, которая крепится на опорную плиту);
- муфта герметичности/направляющая, предназначенная для водонепроницаемого уплотнения на корпусе анкера и увеличивающая радиус изгиба каждой арматурной пряди на выходе из анкера;
- анкерный цилиндрический колпак, закрывающий концы арматурных прядей в месте выхода из цанг. Колпак устанавливается на фланце анкерной трубы в случае фиксированного анкера и на анкерном блоке в случае регулируемого анкера.

5.4.5 Каждая прядь натягивается специальным домкратом с одновременным контролем в нем усилия и зажимается в анкерной плите индивидуальной цангой.

Для обеспечения однородности усилий во всех прядях ванты, следует применять метод «изонатяжения». Пряди устанавливаются последовательно с применением датчика усилия, с выравниванием усилий натяжения на каждом этапе. Эта операция повторяется до тех пор, пока не будет натянута последняя прядь ванты. В результате все пряди оказываются натянутыми на одинаковое усилие.

5.4.6 При необходимости по концам каната устанавливают фиксированные и регулируемые анкерные устройства с вилкообразным приспособлением (рисунок 5.8). Регулируемое анкерное устройство, обеспечивающее натяжение пучка прядей следует располагать на нижнем конце каната троса, где возможна установка демпферов (гасители колебаний) для предупреждения резонансных явлений от действия пульсационной ветровой нагрузки.



а – фиксированное; б – регулируемое

Рисунок 5.8 – Анкерные устройства с вилкообразным приспособлением

5.4.7 Для снижения вибраций от дождя в сочетании с ветром на внешней поверхности оболочки ванты следует предусматривать двойной спиралевидный буртик. Аэродинамическую устойчивость канатов «монострендов» обеспечивают за счет внутренних и внешних демпферов, поперечных тросовых стяжек.

5.4.8 Сокращенные технические характеристики стальных канатов-монострендов и анкерных устройств приведены в таблице 5.1.

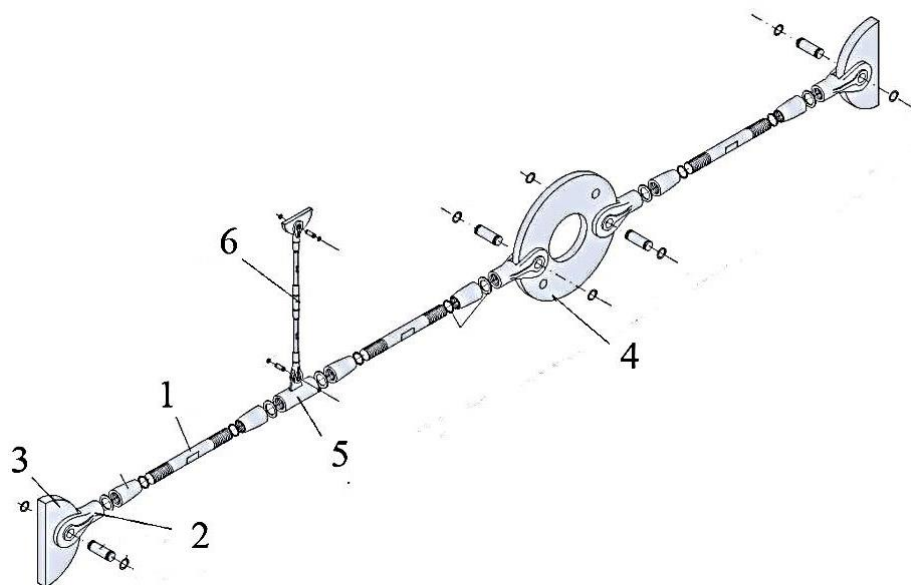
**Таблица 5.1 – Сокращенные технические характеристики стальных канатов-
монострендов и анкерных устройств**

Кол-во прядей	Канат		Анкерный блок	
	Мин. разрывное усилие (МН)	Наружный диаметр оболочки (мм)	Наружный диаметр (мм)	Длина (мм)
12	3,35	125	235	1546
19	5,30	140	284	1756
27	7,53	160	336	2136
31	8,65	160	346	2146
37	10,32	180	368	2311
48	13,39	200	415	2534
75	20,93	250	506	2981
91	25,39	280	546	2374
109	30,41	315	600	3660
127	35,43	315	640	3850
169	47,15	355	740	4360

5.5. Натяжные элементы

5.5.1 При ограниченной длине растянутых элементов, их выполняют из круглой стали с пределом текучести 680 МПа и выше. Стержни должны соответствовать требованиям к ответственным статически и динамически нагружаемым изделиям. Прутки для стержней следует изготавливать по ГОСТ 4543 из конструкционных легированных и углеродистых марок стали 40Х, стали 45 с последующей возможной термообработкой для придания повышенной прочности.

5.5.2 Стандартная система таких элементов состоит из тяги с регулирующим длину устройством, двух вилкообразных анкеров (с правой и левой резьбой), гайкой и контргайкой, защитным кольцом с уплотнителем (рисунок 5.9). Варианты конструктивного решения фасонки приведены на рисунке 5.10.



*1 – тяга (d); 2 – вилкообразный анкер; 3 – фасонка;
4 – центральный диск; 5 – муфта; 6 – подвеска*

Рисунок 5.9 – Конструктивная схема растянутого стержневого элемента

5.5.3 Широкий ассортимент элементов заводского изготовления позволяет использовать разнообразные конструкции от простых затяжек до сложных перекрестных систем. Растянутые стержни включают в основном варианте до 19 диаметров от 6 до 100 мм. Возможны элементы большего

диаметра. Наибольшая длина тяг – 15,0 м, которую можно с помощью муфт увеличивать до требуемых размеров. Для исключения провисания длинных стержней, следует использовать муфту с петлей для крепления подвески.

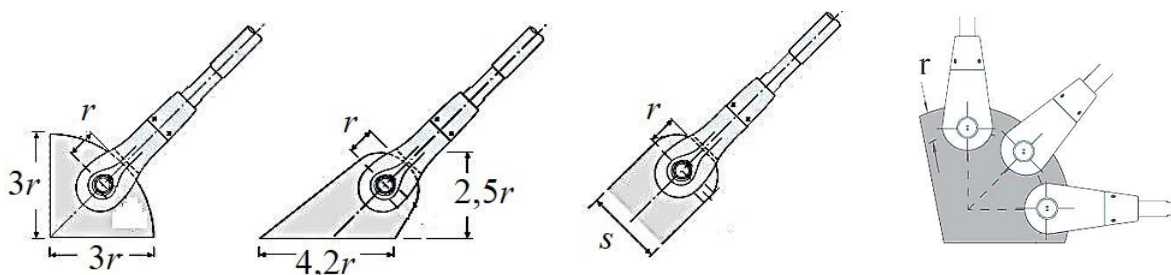


Рисунок 5.10 – Варианты конструктивного решения фасонки

5.5.4 Технические данные по несущей способности растянутого стержня и размерам фасонки, приведены в таблицах 5.2, 5.3.

Таблица 5.2 – Несущая способность стержня (Сталь С460)

d , мм	16	20	24	30	36	42	48	56	64	72	80	90	100
N_p , кН	69,7	109	156	248	361	504	662	933	1200	1530	1890	2410	2950

Таблица 5.3 – Минимальные размеры фасонки (сталь С355), мм

d	16	20	24	30	36	42	48	56	64	72	80	90	100
r	29	35	42	50	61	73	81	93	109	120	134	150	167
s	40	51	62	74	90	109	122	143	165	185	209	235	252

5.5.5 Фасонки следует выполнять из стали С355. Обе фасонки должны быть расположены в одной плоскости, максимальное отклонение не должно превышать $0,5^\circ$.

5.5.6 Растянутые стержни и комплектующие элементы должны обладать высокой коррозионной стойкостью, в том числе и в зонах резьбы, за счет высококачественной горячей оцинковки с учетом требований ГОСТ 9.307-2021. Толщина защитного покрытия должна быть не менее 40 мкм.

5.5.7 В комплект с растянутыми элементами для комбинированных систем включают сжатые элементы с вилкообразными анкерами (рисунок 5.11). Технические данные по несущей способности N_p и размерам сжатого стержня приведены в таблице 5.4

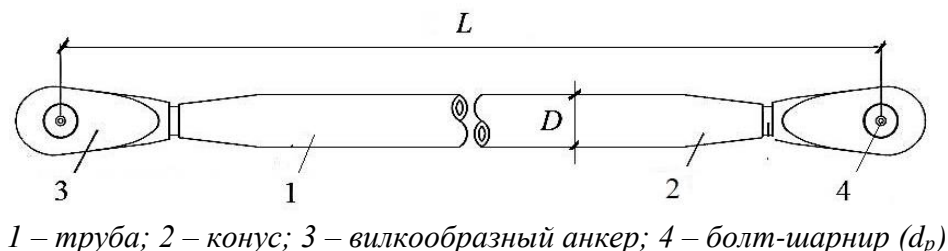


Рисунок 5.11 – Сжатые стержневые элементы

Таблица 5.4 – Сжатые стержневые элементы

d_p , мм	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72	M80	M90	M100
D , мм	61	77	90	102	115	140	170	180	195	220	245	275
L , мм	2500	2900	3100	3400	3900	4500	4800	5500	5900	6200	7200	7500
N_p , кН	45.6	66.9	114	173	236	323	489	669	775	1004	1305	1650

5.6 Дополнительные требования к материалам для металлических тонколистовых (мембранных) конструкций

5.6.1 Тонколистовые металлические конструкции покрытия следует выполнять из углеродистой, низколегированной или нержавеющей стали, из алюминиевых сплавов.

5.6.2 Для стальных мембран рекомендуется использовать:

- сталь С255 по ГОСТ 27772, поставляемую в листах или рулонах по ГОСТ 19903;
- низколегированную сталь марки С355-1 категории 6 по ГОСТ 27772, поставляемую в листах или рулонах по ГОСТ 19903;
- низколегированную атмосферостойкую сталь С345К и С355К по ГОСТ 27772.

Допускается применять атмосферостойкую сталь марки 14ХГНДЦ категории поставки 3 по ГОСТ Р 55374.

При высокой степени агрессивного воздействия среды следует применять нержавеющие стали марки 08X18T1 толщиной до 2 мм и марки 12X18H10T толщиной до 4 мм, поставляемые в листах или рулонах по ГОСТ 5582.

5.6.3 Для алюминиевых тонколистовых конструкций по СП 128.13330 следует применять алюминиевые сплавы системы Al-Mg по ГОСТ 4784, поставляемые толщиной от 1 до 3 мм в рулонах по ГОСТ 13726.

5.7 Материалы для жестких нитей, контурных несущих конструкций и соединений

5.7.1 Стальной прокат, применяемый для изготовления стальных висячих конструкций, должен удовлетворять требованиям ГОСТ 23118, СП 16.13330.2017 (приложение В) для стальных конструкций группы 1. Требования к приемке и подготовке металлопроката приведены в [1].

5.7.2 Для изготовления конструкций следует применять стальной прокат по ГОСТ 27772.

Для несущих конструкций следует применять стальной прокат с пределом текучести $\sigma_T \geq 355 \text{ Н/мм}^2$. В качестве проката повышенной прочности рекомендуется применять сталь С355-1 категории 6 по ГОСТ 27772.

Для ответственных конструкций следует применять стальной прокат с пределом текучести $\sigma_T \geq 390 \text{ Н/мм}^2$. В качестве проката повышенной прочности рекомендуется применять сталь С390-1 по ГОСТ 27772.

5.7.3 Для сооружений класса КС3 коэффициент надежности по материалу γ_m , следует принимать равным 1,1.

5.7.4 Для предотвращения холодных трещин в сталях высокой прочности в зоне термического влияния сварки, следует вводить ограничения по суммарному содержанию легирующих элементов и углерода, приводимому к углеродному эквиваленту ($C_E \leq 0,46 \%$), на содержание

водорода в металле (не выше 3 см² на 100 г металла), а также на максимальную твердость металла в зоне термического влияния сварки.

5.7.5 Требования к материалам для отливок и поковок (опорные части, шарниры, сложные узлы и специальные детали) следует принимать по СП 494.1325800-2020 раздел 5.4.

6 Основные требования к расчетам

6.1 Общие положения

6.1.1 Висячие конструкции и их расчет должны удовлетворять требованиям по надежности ГОСТ 27751 и другим нормативным документам, с учетом назначения конструкций, выполнением требований к выбору материалов, расчетам и конструированию.

6.1.2 В случае применения висячих конструкций в уникальных большепролетных объектах класса КС-3 с повышенным уровнем ответственности согласно ГОСТ 27751, коэффициент надежности по ответственности несущих конструкций и оснований γ_n для таких сооружений следует принимать не менее 1,1, а расчетный срок эксплуатации – до 100 лет.

6.1.3 Расчеты висячих конструкций по предельным состояниям следует выполнять для всех воздействий на конструкции или их элементы на стадии изготовления, транспортирования, возведения и эксплуатации. Расчетные схемы и нагрузки должны соответствовать принятым конструктивным решениям и воздействиям для каждой рассматриваемой стадии. При определении расчетных величин перемещений конструкций с учетом сочетаний нагрузок и воздействий следует руководствоваться СП 20.13330.2016 (раздел 15).

Коэффициенты условий работы, коэффициенты надежности по нагрузке, потери напряжений от релаксации, трения и податливости анкеров напрягаемых элементов следует принимать в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 (раздел 8).

6.1.4 Расчеты следует производить как аналитическими методами, применяющимися при расчетах отдельных нитей и для предварительного назначения жесткостных характеристик элементов сложных систем, так численными методами с применением сертифицированных программных комплексов.

6.1.5 В расчетах следует учитывать, что основная особенность работы пролетных висячих систем определяется их геометрической изменяемостью. Кинематические перемещения изменяют расчетную схему системы.

6.2 Нагрузки и воздействия

6.2.1 Висячие конструкции должны воспринимать любые виды постоянных и временных нагрузок, в т.ч. неравномерно распределённых, статические и динамические нагрузки в виде грузов – сосредоточенных, полосовых, распределенных на небольшой площади, воздействия температурные и особые – создающие аварийные ситуации, и при необходимости сейсмические.

6.2.2 При проектировании висячих конструкций следует учитывать, что в большинстве случаев определяющие нагрузки – собственный вес и климатические нагрузки и воздействия. К ним могут добавляться технологические, гололедные и монтажные нагрузки, вызывающие дополнительные усилия, суммирующиеся с эксплуатационными нагрузками.

6.2.3 Величины нагрузок от собственного веса несущих конструкций следует определять автоматически в программном комплексе по фактически принятым в расчетах сечениям элементов с учетом коэффициента, зависящего от веса узлов их сопряжений, который следует принимать равным от 1,05 до 1,15, в зависимости от конструкции узла. Величины нагрузок от собственного веса ограждающих конструкции следует принимать в соответствии с проектными решениями.

6.2.4 Величины технологических нагрузок на покрытие следует принимать в соответствии с заданием на проектирование. В первом приближении нормативные величины этих нагрузок следует принимать в пределах от 0,3 до 0,6 кПа. Задание на нагрузки от оборудования должно включать их величины, с учетом возможного увеличения в процессе длительной эксплуатации, реконструкции или модернизации сооружения.

6.2.5 При расчетах узлов следует учитывать возможность приложения в любой узловой точке конструкции покрытия на стадии монтажа сосредоточенных сил, величиной не менее 5 кН.

6.2.6 Климатические нагрузки и воздействия следует принимать по СП 20.13330. При проектировании учитывают, что климатические нагрузки зачастую соизмеримы с суммарными значениями остальных нагрузок, их уровень и распределение оказывают существенное влияние на работу конструкции.

6.2.7 Для висячих конструкций большепролетных покрытий с нестандартной формой поверхности обязательна разработка рекомендаций по определению снеговых и ветровых нагрузок на основании продувок модели сооружения в специализированной аэродинамической трубе.

В расчетах следует учитывать варианты ветровых нагрузок при различных направлениях ветровых потоков, включающих нормальное давление/отсос на внешнюю/внутреннюю поверхность; силы трения, направленные по касательной к внешней поверхности; пиковые значения, действующие на элементы ограждения.

6.2.8 При проектировании следует учитывать:

- возможность образования снеговых мешков, нагрузка от которых может в несколько раз превышать нормативное значение веса снегового покрова по СП 20.13330;

- эффект сползания скользящего по гладким поверхностям снега во впадины оболочки или обрушивающегося с покрытия. Для провисающих покрытий на овальном плане, за счет сползания снега к центру, необходимо рассматривать схемы снеговой нагрузки с коэффициентом $\mu = 0$ по периметру покрытия, а в средних зонах этот коэффициент следует определять исходя из равенства суммарного объема снега на покрытии;

- неравномерные снеговые нагрузки, могут вызывать большие локальные, в том числе кинематические, деформации покрытия, приводить к потере его устойчивости или к расстройству кровли.

6.2.9 Расчетные значения веса снегового покрова, превышаемые один раз в 50 лет, принимают по СП 20.13330. Для обеспечения повышенной надежности конструкций большепролетных покрытий в расчетах следует учитывать коэффициент надежности по ответственности, принимая во внимание, что при $\gamma_n = 1,2$ такая нагрузка соответствует количеству снега, выпадающего один раз в 100 лет с учетом 15 % сноса с покрытий малых уклонов.

6.2.10 В расчетах дополнительно следует учитывать следующие воздействия:

- температурные, в соответствии с требованиями СП 20.13330.
- обусловленные деформациями основания;
- сейсмические согласно требованиям СП 14.13330, для сейсмоопасных районов;
- обусловленные последовательностью монтажа, в том числе предварительного напряжения, в соответствии с согласованным проектом производства работ (ППР).

6.2.11 На элементах висячих конструкций, возвышающихся над поверхностью земли от 20 до 50 м, следует учитывать возможность образования отложений гололеда (снежно-ледовой массы с объемным весом от 0,3 до 0,8 г/см³), которые существенно меняют аэродинамические характеристики вант. При оценке надежности кровли должна учитываться возможность падения на нее кусков гололедных отложений.

6.3 Особенности проведения расчетов

6.3.1 Расчеты висячих конструкций должны включать анализ функционального назначения объекта, условий работы конструкции, вида возможных предельных состояний; технологических воздействий и т.п.

6.3.2 При выборе архитектурно-конструктивных решений размеры основных элементов следует принимать исходя из существующего опыта с проверкой инженерными методами, для определения в первом приближении

сечений, необходимых для выполнения расчетов на следующих этапах проектирования с применением численных методов.

6.3.3 При проектировании следует выполнять многовариантные расчеты численными методами различных конструктивных схем для нахождения оптимальной системы, обеспечивая максимальную экономичность и эксплуатационную надежность сооружения.

6.3.4 Для сооружений класса КС-3 следует выполнять независимые проверочные расчеты, с применением иного, чем в основных расчетах, программного комплекса. По расчетам следует осуществлять сопоставительный анализ, при этом разница между результатами не должна превышать 10 %, в противном случае требуется выявление причин расхождения результатов расчетов.

6.3.5 При выборе расчетных программных комплексов необходимо определять их возможности с точки зрения аппроксимации заданного конструктивного решения соответствующими расчетными элементами, моделируя сечения, жесткости, узлы сопряжения, материалы, модели разрушения и т.п.

6.3.6 Расчетную схему сооружения с применением висячих конструкций необходимо принимать в виде конечно-элементной модели (стержневые, оболочечные, объемные и другие элементы) как единую пространственную систему, с учетом факторов, определяющих ее напряженное и деформированное состояния. Расчетная схема должна включать основание, фундаменты, каркас сооружения, пространственное покрытие. Расчетную схему конструкции следует принимать в соответствии с ее проектной геометрией, с учетом продольных, изгибных и крутильных жесткостей элементов; их проектных связей, узловых эксцентриситетов, граничных условий, строительного подъема и перемещений при раскручивании и т.п.

6.3.7 В расчетах таких конструкций рекомендуется принимать следующие предпосылки:

- канатные элементы воспринимают только растягивающую силу;

- контурные элементы работают на сжатие с изгибом и кручение;
- внешняя нагрузка прикладывается в узлы конструкции.

6.3.8 Усилия в канате висячей конструкции определяют расчетом системы методом конечных элементов в нелинейной постановке, используя дискретную модель провисающей гибкой нити в виде цепи, состоящей из стержней, соединенных между собой шарнирами.

При расчете многоэлементных висячих конструкций стальной канат между узлами пересечения/закрепления допускается аппроксимировать прямыми отрезками, а влияние провиса этих элементов, при большой их длине, следует учитывать путем введения эффективного модуля упругости E_{ef} по формуле:

$$E_{ef} = E / (1 + k L^2); \quad k = \gamma^2 E / (12 \sigma_0^3) \quad (6.1)$$

где E – справочный модуль упругости каната, (МПа); L – горизонтальная проекция каната между узлами пересечения, м; γ – собственный вес каната, Н/мм²; σ_0 – осевое напряжение, Н/мм².

6.3.9 В расчетах необходимо учитывать действительные условия работы системы, физико-механические свойства применяемых материалов, пластические и реологические свойства грунтов, взаимодействие элементов конструкции между собой и с основанием, поэтапную последовательность монтажа конструкций и т.п. Численный расчет должен охватывать все варианты возможных отказов.

6.3.10 Проверку прочности, пространственной неизменяемости, общей и местной устойчивости конструкции, отдельных элементов, их частей, деталей и соединений следует выполнять на возможные неблагоприятные сочетания статических и динамических нагрузок и воздействий в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Надежность расчетов обеспечивают независимым контролем, в соответствии с требованиями таблицы 3 ГОСТ 27751-2014.

6.3.11 Расчеты следует выполнять в геометрически нелинейной постановке, если ее учет вызывает изменение усилий или перемещений в

элементах висячей конструкции более чем на 10 %. В расчетах следует учитывать податливость опорного контура. При наличии в системе пилонов они должны быть проверены по прочности и устойчивости на основе деформационных расчетов. Гибкость пилона при проверке общей устойчивости необходимо определять с учетом переменной жесткости, условий его закрепления в фундаменте и узлах примыкания ригелей и вант. В ряде случаев для пилонов учитывают следящий эффект от усилий в канатах.

6.3.12 Расчеты наиболее сложных узлов опорного контура висячих конструкций следует выполнять в физически нелинейной постановке методом конечных элементов с учетом требований СП 294.1325800.2017 (подраздел 4.4). Их моделирование выполняют с применением пластинчатых или объемных конечных элементов, с учетом нелинейной диаграммы материала для определения зоны пластических деформаций и относительных удлинений на этих участках. Оценку несущей способности соединения рекомендуется выполнять по одному из двух (более строгому) вариантов:

а) пластические деформации в расчетах ограничиваются значениями относительных удлинений ϵ от 4 % до 5 %, а их развитие допускается лишь на небольшой площади (не более 5 % площади фасонки или детали);

б) локальные зоны развития пластических деформаций не должны превышать 10 % площади поперечного или продольного сечения фасонки или детали, а среднее значение относительных пластических деформаций в этой зоне ограничивается величиной $\epsilon \leq 0,5$ %.

6.3.13 В расчетах следует учитывать нелинейность, определяемую работу элементов только на растяжение или с односторонними связями. При монтаже или раскруживании конструкций покрытия на временных опорах, следует учитывать нелинейность, определяемую поэтапным изменением расчетной схемы. При этом расчеты должны выполняться с запоминанием и накоплением величин перемещений и усилий, полученных на каждой стадии монтажа или раскруживания конструкций.

6.3.14 В расчетах следует учитывать динамическую реакцию висячих конструкций на воздействия ветра, с учетом статических, квазистатических и резонансных вкладов. Для определения собственных частот элементов покрытия и коэффициента динамичности пульсационной составляющей ветровой нагрузки динамические расчеты следует выполнять с повышенными и пониженными величинами постоянных и временных нагрузок.

Висячие конструкции следует проверять расчетом на аэродинамическую устойчивость и на резонанс колебаний элементов в направлении, перпендикулярном ветровому потоку. В случае необходимости, проводить расчет на выносливость для исключения усталостных разрушений элементов. Для предотвращения резонансного вихревого возбуждения или аэродинамической неустойчивости следует использовать конструктивные мероприятия.

6.3.15 При проектировании висячих конструкций рекомендуется использовать такие конструктивные решения, при которых их низшая собственная частота f_1 в вертикальном направлении превышает 1,0 Гц. В случае, если частота $f_1 < 1,0$ Гц, для оценки динамической реакции покрытия в вертикальном направлении необходимо использовать специальные методы расчета. В приближенных расчетах влияние динамической составляющей ветра допускается учитывать повышающим коэффициентом.

6.3.16 Конструкции сооружений с висячими покрытиями, проектируемыми для строительства в сейсмических районах, должны удовлетворять расчетам на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий в соответствии с СП 14.13330.

6.3.17 При использовании приближенных аналитических методов расчета необходимо принимать во внимание, что гибкая нить - геометрически изменяемая система и ее очертание зависит от длины, условий закрепления на опорах и распределения действующей на нее нагрузки.

Для нерастяжимой нити с не смещаемыми опорами на разных уровнях (рисунок 6.1), уравнение равновесия имеет вид

$$y(x) = M(x) / H; \quad (6.2)$$

где: $y(x) = y_0(x) + w(x)$ – провис нити в сечении x ; $M(x)$ – балочный момент в сечении x от нагрузки $q(x)$; H – горизонтальная составляющая усилия растягивающего нить (распор).

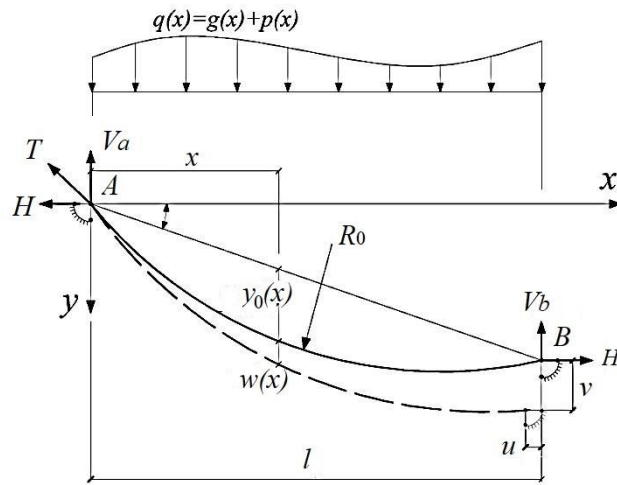


Рисунок 6.1 – Расчетная схема нити

Дифференциальная форма уравнения равновесия нити:

$$H \frac{d^2 y}{dx^2} - q(x) = 0. \quad (6.3)$$

На рисунке 6.2 приведены схемы нагружения нитей в покрытиях различных типов.

С учетом уравнения (6.1) для покрытий на рисунке 6.2 могут быть приближенно соответственно определены:

длина нитей

$$L \cong l[1 + 8/3 (f/l)^2]; \quad (6.4)$$

$$L \cong l[1 + 18/5 (f/l)^2]; \quad (6.5)$$

$$L \cong l[1 + 0,5 \text{tg}^2 \beta + 128/45 (f/l)^2]; \quad (6.6)$$

усилие распора

$$H = (g+p)l^2/(8f); \quad (6.7)$$

$$H = (g+p)l^2/(24f); \quad (6.8)$$

$$H = (g+p)l^2/(16f); \quad (6.9)$$

прогибы

$$w = 3 pl^4 / [(128 EA f_0^2) (1 + C_1)], \quad \text{где } C_1 = 3 gl^4 / (128 EA f_0^3); \quad (6.10)$$

$$w = 5 pl^4 / [(864 EA f_0^2) (1 + C_2)], \quad \text{где } C_2 = 5 gl^4 / (864 EA f_0^3); \quad (6.11)$$

$$w = pl^4 / [(91 Eaf_0^2 \cos^5 \beta) (1+C_3)], \text{ где } C_3 = gl^4 / (91 Eaf_0^3 \cos^5 \beta). \quad (6.12)$$

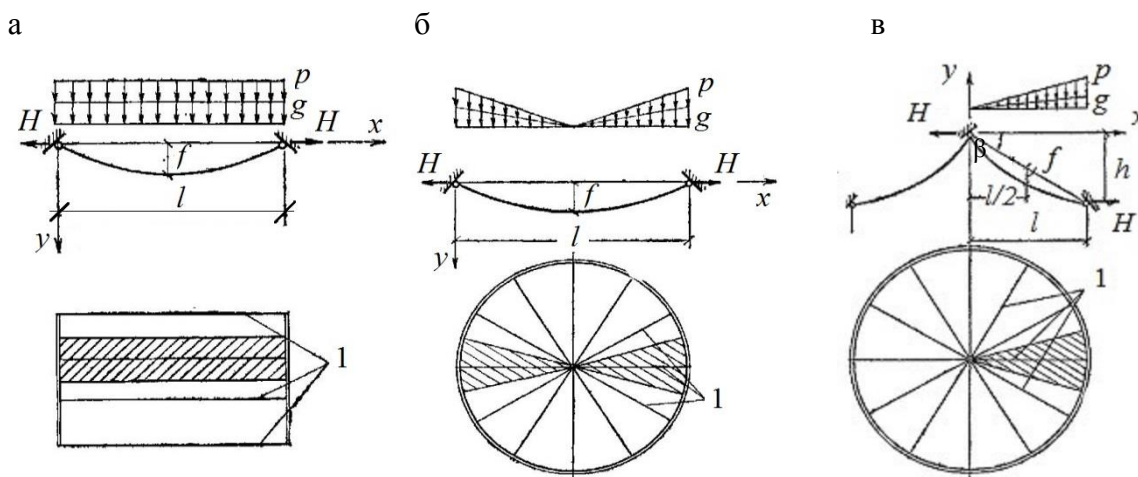
В изгибно-жестких провисающих нерастяжимых нитях с не смещаемыми опорами нагрузка вызывает ее растяжение и появление моментов изгибающих нить. Дифференциальная форма уравнения равновесия нити с конечной изгибной жесткостью соответствующая рисунку 6.1 имеет вид:

$$EI \frac{d^4 w(x)}{dx^4} - H \frac{d^2 y}{dx^2} + q = 0. \quad (6.13)$$

Изгибающий момент в нити определяют по формуле:

$$M = M_{\text{бал}} - H [y_0(x) + w(x)], \quad (6.14)$$

где $M_{\text{бал}}$ – балочный момент в сечении x от нагрузки $q(x)$.



а – цилиндрических на прямоугольном плане; б – провисающих на круглом плане; в – шатровых на круглом плане.

Рисунок 6.2 – Схемы нагружения нитей

6.4 Основные положения расчетов стальных канатов

6.4.1 Расчет прочности стальных канатов висячих конструкций следует выполнять в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 (пункт 8.33):

$$N/A \leq R_{dh} m m_1, \quad (6.15)$$

где N – расчетное значение растягивающего усилия в канате; A – суммарная номинальная площадь сечения всех проволок каната; R_{dh} – расчетное сопротивление канатов; $m = 0,8$ – коэффициент общих условий работы несущих канатов; m_1 – коэффициент условий работы канатов

учитывающий влияние концевых анкерных закреплений и промежуточных концентраторов напряжений (сжимов).

Для закрытых несущих канатов в зоне сжимов $m_1 = 1$ при соблюдении условий:

$$D/d_s \geq 0,7 d_s + 15 \text{ при } 10 \leq d_s \leq 50 \text{ или } D/d_s \geq 52 \text{ при } d_s > 50$$

где D – диаметр круговой кривой отклоняющего устройства, мм,

d_s – диаметр каната, мм.

При закреплении канатов в концевых анкерах и заливке конца каната в конической или цилиндрической полости корпуса сплавом цветных металлов на длине не менее 5 диаметров каната – $m_1 = 0,95$.

6.4.2 Расчетное сопротивление R_{dh} для канатов и пучков из параллельных высокопрочных проволок:

$$R_{dh} = 0,625 R_{un}, \quad (6.16)$$

где R_{un} – наименьшее временное сопротивление проволоки разрыву по государственным стандартам или техническим условиям.

Расчетное сопротивление R_{dh} для закрытых несущих канатов:

$$R_{dh} = [\Sigma P_{un}] / (A \gamma_m) \text{ или } R_{dh} = k \Sigma P_{un} / (A \gamma_m), \quad (6.17)$$

где $[\Sigma P_{un}]$ – значение разрывного усилия каната в целом, указанное в НД; $\gamma_m = 1,6$; ΣP_{un} – сумма разрывных усилий всех проволок в канате; k – коэффициент агрегатной прочности витого каната, определяемый по таблице 8.20 СП 35.13330.2011.

При разработке концептуальных схем приближенный расчет допускается проводить по формуле:

$$N \leq 0,475 N_{un}, \quad (6.18)$$

где N – расчетное значение растягивающего усилия в канате;

N_{un} – значение разрывного усилия каната в целом, указанное в НД;

0,475 – обобщенный коэффициент, учитывающий условия работы несущих канатов, влияние концевых анкерных закреплений и промежуточных концентраторов напряжений (сжимов), коэффициент

надежности для элементов конструкций, рассчитываемых по временному сопротивлению разрыву.

6.4.3 Расчет канатов на ползучесть и выносливость следует выполнять с учетом СП 35.13330.2011:

- а) продольную $\varepsilon_{pl,x}$ и поперечную $\varepsilon_{pl,y}$ ползучесть канатов по пунктам 8.33 и 8.34;
- б) расчет канатов на выносливость по пункту 8.58;
- в) продольные деформации канатов по пункту 8.68.

6.4.4 В случаях наличия в конструкции подвесок или оттяжек длиной более 40 м, не защищенных от ветровых воздействий, их надлежит проверять расчетом на аэродинамическую устойчивость и, в случае необходимости, проводить расчет на выносливость для исключения усталостных разрушений элементов.

Для обеспечения безопасности критический коэффициент затухания не должен превышать 0,5 %, а амплитуда колебаний вант при скорости ветра 15 м/с, не должна превышать $L / 500$, где L – длина каната.

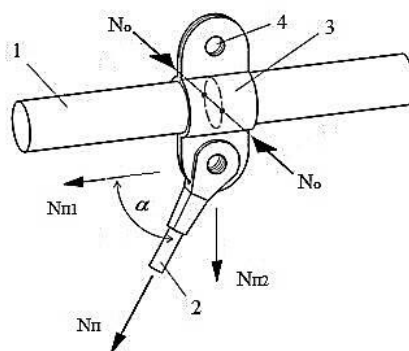
6.4.5 В случае невозможности выполнения требований пункта 5.3.10, расчетами следует исключать возможность проскальзывания сжимов, устанавливаемых в узлах сопряжения основных канатов и подвесок (рисунок 6.3). Для этого определяют тангенциальную составляющую усилия воспринимаемого сжимом, с учетом усилий в подвеске, угла ее наклона и коэффициент надежности, учитывающего снижение сил трения в результате обжатия канатов.

Проскальзывание сжима проверяется по формуле:

$$N_{n1} \leq ((N_{n2} + N_0) \mu) / \gamma_1 \quad (6.19)$$

где N_{n1} – проекция расчетного усилия в подвеске параллельно основному канату; N_{n2} – проекция расчетного усилия в подвеске перпендикулярно основному канату; N_0 – усилие обжатия сжима; $\mu = 0,3$ коэффициент трения между сжимом и канатом; $\gamma_1 = 1,65$ – частный коэффициент надежности по трению.

Из формулы (6.19) определяют требуемую величину усилия обжатия и длину сжима.



*1 – основной канат; 2 – подвеска; 3 – сжим;
4 – отверстие для предварительно натянутых высокопрочных болтов*

Рисунок 6.3 – Узел сопряжения основных канатов и подвесок

6.4.6. Поперечное сечение фасонки сжима проверяется расчетом на растяжение с изгибом в соответствии с требованиями СП 16.13330.2017, раздел 9.1.

Минимальная амплитуда напряжений при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки, вызывающей усталостные повреждения сжимов, не должна превышать 5 МПа.

7 Требования к проектированию висячих покрытий

7.1 Основные положения

7.1.1 Основными элементами висячего покрытия являются растянутые пролетные элементы и опорные конструкции. Нагрузка на растянутые несущие элементы покрытия передается непосредственно через кровельный настил или прогоны. Висячие конструкции следует применять в покрытиях пролетом от 20 до 300 м.

7.1.2 Висячие конструкции классифицируют:

- по принципиальной конструктивной схеме;
- форме сооружения в плане и геометрии поверхности покрытия;
- методу стабилизации покрытия;
- способу восприятия распора усилий с пролетной конструкции;
- материалу несущих растянутых и контурных элементов.

Большой класс комбинированных конструкций из гибких растянутых вант и сжато-изогнутых жестких элементов, представлен в разделе 9.

7.1.2.1 *Конструктивные схемы.* Висячие конструкции разделяют на линейные и пространственные.

Линейные системы работают в вертикальной плоскости, а их пространственную работу следует обеспечивать второстепенными ортогональными элементами.

Пространственные системы работают в двух направлениях. Их пространственную работу следует обеспечивать граничными условиями, наличием контурных несущих элементов (балки, фермы, арки, диафрагмы и т.п.) или гибких элементов (трос-подборов).

По типу конструктивной схемы выделяют:

- одно- и двухслойные системы;
- жесткие ванты (висячие фермы и балки);
- системы типа «велосипедное колесо»;
- тросовые сетки.

7.1.2.2 *Форма плана.* Висячие конструкции покрытий имеют разнообразную форму плана – квадрат, прямоугольник, круг, овал и т.д., а также более сложное комбинированное очертание.

7.1.2.3 *Форма поверхности* висячих покрытий имеет нулевую, положительную или отрицательную кривизну или в виде комбинации оболочек с одинаковой или различной формой поверхности.

Стрелу провиса вант f следует назначать с учетом следующих факторов: с уменьшением f уменьшается объем сооружения; снижаются требуемые величины параметров, обеспечивающих стабилизацию покрытия; но при этом возрастают усилия в вантах и опорном контуре.

7.1.2.4 *Методы стабилизации покрытия:*

- увеличение собственной массы покрытия или пригруз;
- предварительное напряжение системы;
- введение в конструкцию покрытия изгибно-жестких элементов.

7.1.2.5 *Способы восприятия распора усилий с пролетной конструкции:*

- замкнутым опорным контуром – распоры воспринимают в уровне покрытия и на нижележащие конструкции передаются в основном вертикальные усилия;

- разомкнутым опорным контуром – усилия распора передают на каркас здания, контрфорсы, пилоны или оттяжки с анкерными якорями.

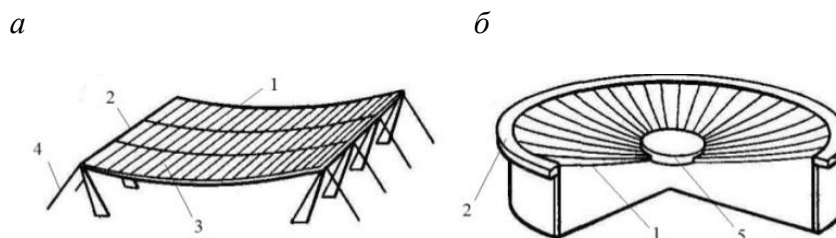
7.1.2.6 *Материалы.* В качестве материала несущих растянутых элементов следует применять стальные канаты, пряди из высокопрочной проволоки, растянутые круглые стержни, висячие элементы или фермы. Опорные конструкции следует выполнять из железобетонных или стальных контуров, рам, арок, трос-подборов, стоек с оттяжками и т.п.

7.1.3 Проектирование висячих конструкций следует выполнять в соответствии с общими требованиями по прочности, жесткости и устойчивости, приведенными в СП 16.13330 и СП 35.13330.

7.1.4 Требования к проектированию узлов и деталей висячих покрытий (узловые болты-шарниры, опорные части, демпфирующие устройства) см. СП 494.1325800.2020, раздел 11.

7.2 Однослойные вантовые системы

7.2.1 Однослойные (однопоясные) висячие покрытия – конструкции на прямоугольном, круглом или овальном плане (рисунок 7.1), с провисающими параллельными или радиальными вантами. Такие системы следует применять с железобетонными плитами ограждения (висячая железобетонная оболочка) или легкими панелями ограждения.



*а – на прямоугольном плане; б – на круглом/овальном плане.
1 – ванты; 2 – наружный опорный контур; 3 – железобетонные плиты;
4 – оттяжки; 5 – центральное кольцо*

Рисунок 7.1 – Однослойные системы

7.2.2 Форму поверхности покрытия следует принимать нулевой или положительной гауссовой кривизны, стрелу провиса от $f/20$ до $f/10$ пролета/диаметра таких покрытий, шаг вант от 2 до 6 м в зависимости от несущей способности панелей ограждения. В легких покрытиях стрелу провиса следует в первом приближении принимать меньше, а в тяжелых больше $1/15$ пролета/диаметра покрытий.

7.2.3 *Висячие железобетонные оболочки.* Однослойные системы с железобетонными плитами ограждения работают по вантовой схеме только на стадии монтажа. При проектировании следует учитывать, что в покрытиях масса тросов составляет от 6 до 8 кг/м², а масса покрытия – от 80 до 200 кг/м², в зависимости от конструкции железобетонной плиты.

Предварительное напряжение однослойных висячих оболочек с железобетонными плитами ограждения следует осуществлять:

- замоноличиванием стыков плит под временным пригрузом;
- натяжением канатов после замоноличивания стыков плит;
- непрерывным замоноличиванием швов бетоном на расширяющемся цементе, после укладки всех плит.

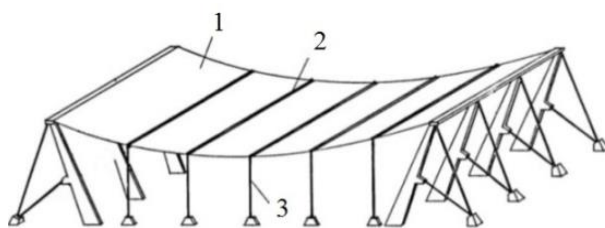
Требования к проектированию висячих железобетонных оболочек следует принимать в соответствии с СП 387.1325800.

7.2.4 Однослойные висячие системы с легкими панелями ограждения:

а) с жесткими нитями (криволинейные фермы, прокатные или сварные балки) со стрелой провиса от $1/10$ до $1/7$ пролета/диаметра таких покрытий. Высоту сплошного сечения следует принимать от $1/70$ до $1/50$ пролета/диаметра, высоту висячей фермы – от $1/25$ до $1/20$ пролета/диаметра покрытия;

б) с применением гибких вант, стабилизацию которых следует осуществлять с помощью поперечных балок или ферм, притягиваемых по концам к фундаментам или опорам (см. рисунок 7.2);

в) с поверхностью отрицательной гауссовой кривизны – гипары и шатровые покрытия.



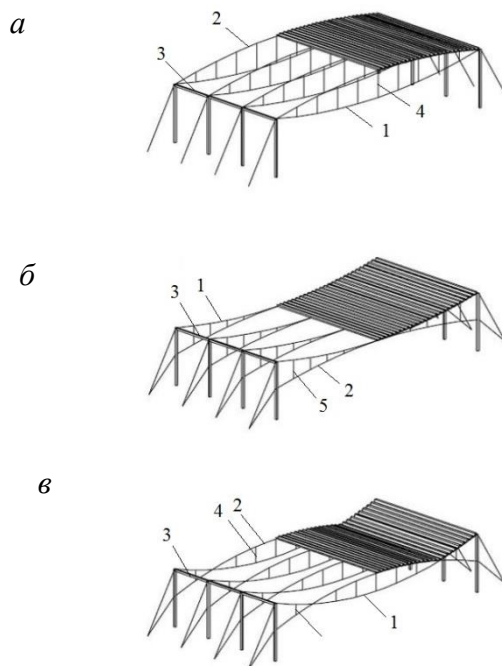
1 – провисающее вантовое покрытие; 2 – поперечные балки или фермы; 3 – тяги

Рисунок 7.2 – Предварительное напряжение с помощью поперечных элементов

7.3 Двухслойные вантовые системы

7.3.1 Двухслойные покрытия (система вантовых ферм на прямоугольном или овальном плане) включают несущие (провисающие) и стабилизирующие (выпуклые) ванты, объединенные распорками/подвесками (рисунок 7.3).

7.3.2 Вантовые фермы следует проектировать двояковыпуклыми с распорками (рисунок 7.3, а), двояковогнутыми с подвесками (рисунок 7.3, б) или комбинированными (рисунок 7.3, в). Расстояние между распорками/подвесками следует назначать до 6 м и более, увязывая с размерами панелей покрытия и шагом прогонов. Сжатые распорки следует проектировать трубчатого сечения, растянутые подвески – из тросов или круглых стержней.



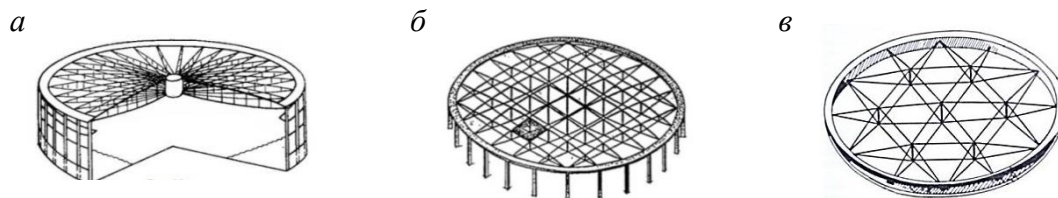
*а – выпуклые; б – вогнутые; в – выпукло-вогнутые;
1 – несущие ванты; 2 – стабилизирующие ванты; 3 – наружный опорный контур;
4 – сжатые распорки; 5 – растянутые подвески*

Рисунок 7.3 – Двухпоясные вантовые системы

7.3.3 Нагрузку на покрытие и усилие от предварительного напряжения системы следует воспринимать провисающими вантами, выгнутые кверху ванты обеспечивают стабилизацию покрытия, за счет предварительного напряжения, и восприятие ветрового отсоса. Стабилизирующие ванты следует напрягать так, чтобы при любых сочетаниях нагрузок в них всегда оставалось усилие растяжения до 10 %.

7.3.4 Стрелу провиса несущих вант следует принимать от 1/15 до 1/10 пролета, а стрелу подъема стабилизирующих вант – от 1/20 до 1/15 пролета. Шаг вантовых ферм у наружного контура следует принимать до 6 м.

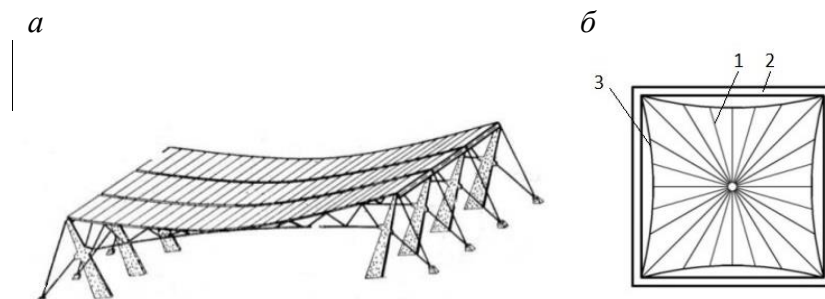
7.3.5 Для сооружений на круглом/овальном плане вантовые фермы следует располагать в радиальном направлении (рисунок 7.4, *а*), в двух или трех направлениях (рисунок 7.4, *б*, *в*).



а – в радиальном направлении; б – в двух направлениях; в – в трех направлениях;

Рисунок 7.4 – Варианты расположения вантовых ферм для покрытий на круглом плане

Для сооружений с прямоугольным планом вантовые фермы следует располагать параллельно (рисунок 7.5, *а*) или в радиальном направлении (рисунок 7.5, *б*) с применением троса-подбора, передающего распор в углы покрытия.



*а – в одном направлении; б – в радиальном направлении;
1 – несущие ванты; 2 – наружный контур; 3 – трос-подбор*

Рисунок 7.5 – Варианты расположения вантовых ферм для покрытий на прямоугольном плане

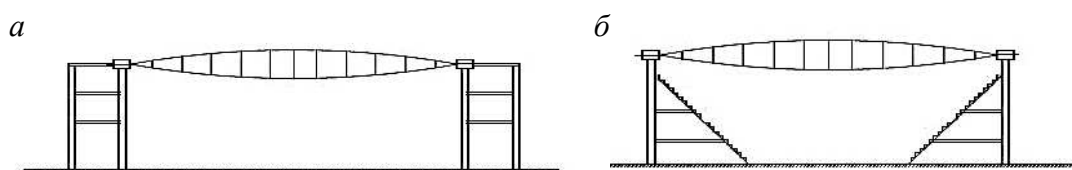
7.3.6 В двухслойных системах в кольцевом/поперечном направлении следует устанавливать второстепенные элементы шагом 5–10 м вдоль поясов вантовых ферм, а также горизонтальные и вертикальные связи.

7.3.7 В покрытиях с радиальным расположением вантовых ферм распор следует воспринимать наружным железобетонным контуром и растянутым стальным центральным барабаном/кольцом. Ось радиальных вант должна проходить через центр тяжести сечения контура.

7.3.8 Наружный контур следует устанавливать на маятниковые колонны или скользящие опоры. Общую устойчивость конструкции покрытия следует обеспечивать пространственной системой и включением в работу четырех тангенциальных связей по главным осям покрытия.

7.3.9 Железобетонный наружный контур следует выполнять шириной от $1/50$ до $1/35$ диаметра покрытия и высотой от $1/12$ до $1/8$ шага колонн. Допускается применение наружного металлического контура. Внутреннее кольцо покрытий с радиальным расположением вант следует проектировать стальным, в виде барабана с двумя поясами (двояковыпуклая конструкция) или в виде одного пояса (двояковогнутая конструкция). Диаметр внутреннего кольца следует назначать с учетом размещения узлов крепления концов вант, не менее $1/10$ наружного кольца.

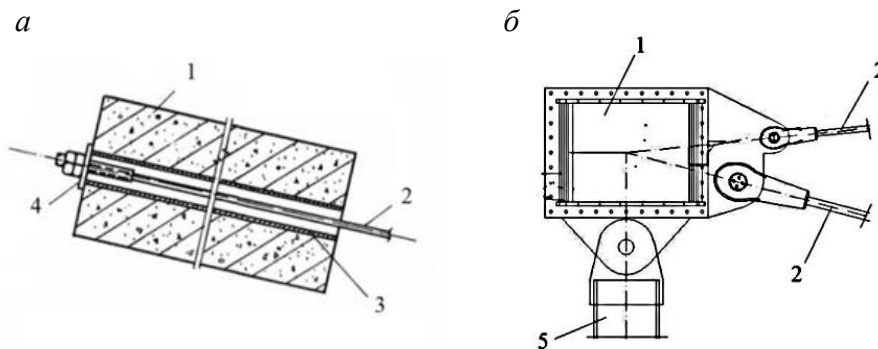
7.3.10 В покрытиях на прямоугольном плане с параллельными вантовыми фермами распор следует воспринимать внешними стойками с оттяжками (рисунок 7.6, а), подпорками или пилонами, боковыми пристройками с рамным каркасом (рисунок 7.6, а, б). Величины усилий во внешних стойках и удерживающих их оттяжках следует уменьшать за счет наклона стоек.



а – боковые пристройки; б – каркас трибун

Рисунок 7.6 – Схема восприятия распора

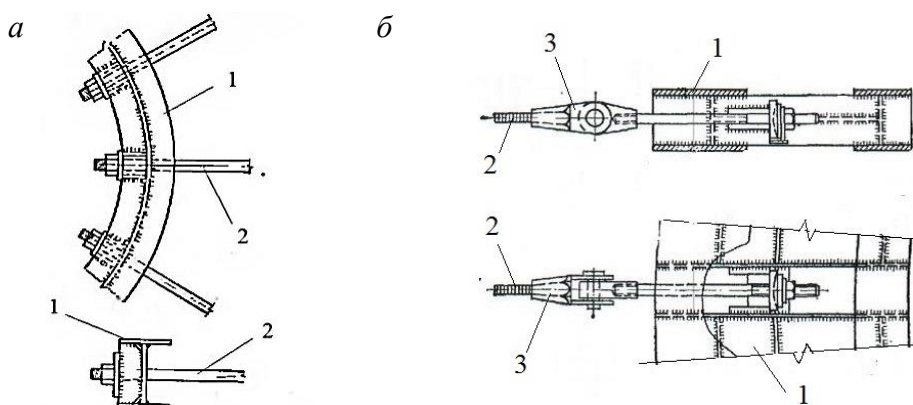
7.3.11 К наружному контуру тросы следует крепить с применением упоров и трубок (рисунок 7.7, а) или фасонок (рисунок 7.7, б). Диаметр трубок следует назначать в 1,5 раза больше диаметра концевой заделки троса. Полости в пределах трубок следует заполнять герметиком. Варианты конструктивного решения крепления вант к внутреннему опорному кольцу представлены на рисунке 7.8, а, б.



*а – железобетонный контур; б – металлический контур;
1 – контур; 2 – трос или стержень; 3 – стальная гильза; 4 – упор;
5 – периметральная стойка*

Рисунок 7.7 – Варианты узла крепления тросов к наружному контуру

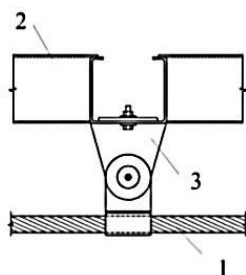
7.3.12 Преднапряжение двухпоясных покрытий следует выполнять натяжением стабилизирующих вант к наружному контуру или к центральному барабану или путем последовательного изменения высоты распорок/подвесок между поясами вант, используя винтовые муфты.



*а – с упорами; б – с переходными деталями;
1 – внутреннее кольцо; 2 – трос или стержень; 3 – переходная деталь*

Рисунок 7.8 – Варианты узла крепления троса к внутреннему кольцу

7.3.13 Для двухпоясных вантовых конструкций в качестве ограждающих элементов кровли следует применять легкие настилы, опирая их на трос (рисунок 7.9) или через систему прогонов.



1 – трос; 2 – панель; 3 – опорный столик

Рисунок 7.9 – Узел опирания кровельного настила на трос

7.4 Вантовые системы типа «велосипедное колесо»

7.4.1 Основными элементами конструкции типа «велосипедное колесо» являются: сжатый наружный контур, растянутое центральное кольцо, объединенные системой парных растянутых радиальных вант.

7.4.2 Существует два варианта конструкции покрытия:

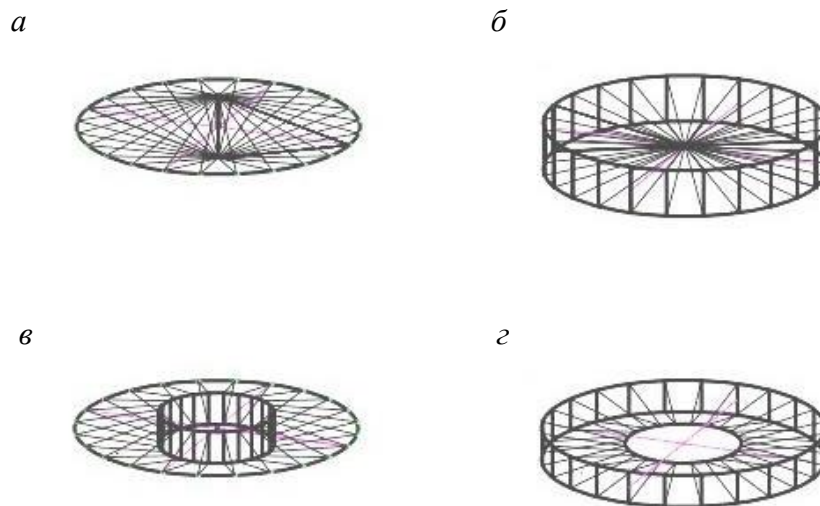
а) сжатый одинарный наружный контур, растянутый двойной внутренний контур в виде центрального барабана, парные радиальные ванты, сходящиеся в центральном барабане (рисунок 7.10, а);

б) сжатый наружный контур из двух кольцевых элементов, расположенных друг над другом и объединенных распорками, парные радиальные ванты, сходящиеся в центральном кольце (рисунок 7.10, б).

Первый вариант рационален по расходу материалов, в нем проще обеспечивается наружный водоотвод. Расстояние между сдвоенными наружными или центральными кольцами по высоте принимают от $1/3$ до $1/4$ вылета консоли.

7.4.3 Конструкции типа «велосипедное колесо» целесообразно применять для покрытий сооружений на круглом или овальном плане.

Конструкция покрытия над трибунами стадионов имеет центральный проем над игровым полем (рисунок 7.10, в, г). В таких покрытиях очертание внутреннего кольца, следует принимать подобным очертанию наружного контура.

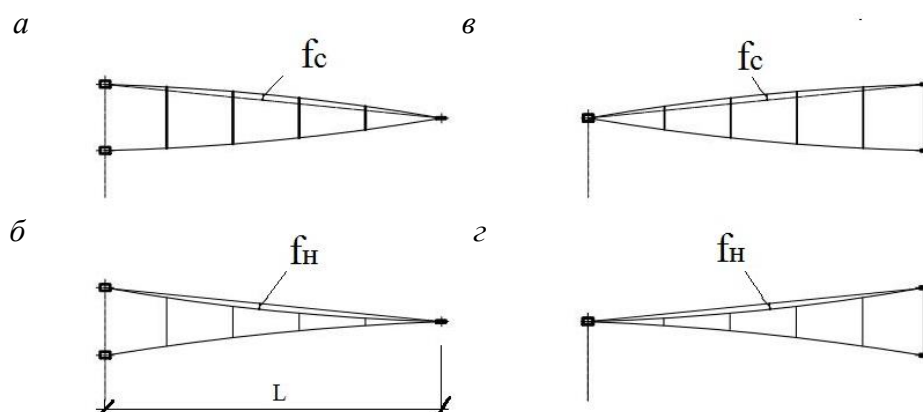


а, б – для крытых арен; в, г – для покрытий с центральным проемом

Рисунок 7.10 – Варианты конструкций покрытий типа «велосипедное колесо»

Такие конструкции применяют в покрытиях над трибунами стадионов с вылетом козырька до 50 м, с общим размером покрытия на круглом или овальном плане до 250 м и выше.

7.4.4 Радиальные вантовые фермы следует проектировать двояковыпуклыми со сжатыми стойками/распорками из труб (рисунок 7.11, а, в) или двояковогнутыми с растянутыми тросовыми подвесками (рисунок 7.11, б, г). Стрелу провиса несущих вант f_n следует принимать $0,05/L$, стрелу подъема стабилизирующих вант $f_c - 0,03/L$, где L – вылет вантовой фермы до центрального кольца.



а – двояковыпуклая со сдвоенным наружным контуром; б – двояковогнутая со сдвоенным наружным контуром; в – двояковыпуклая со сдвоенным внутренним контуром; г – двояковогнутая со сдвоенным внутренним контуром

Рисунок 7.11 – Варианты схем радиальных вантовых ферм покрытия

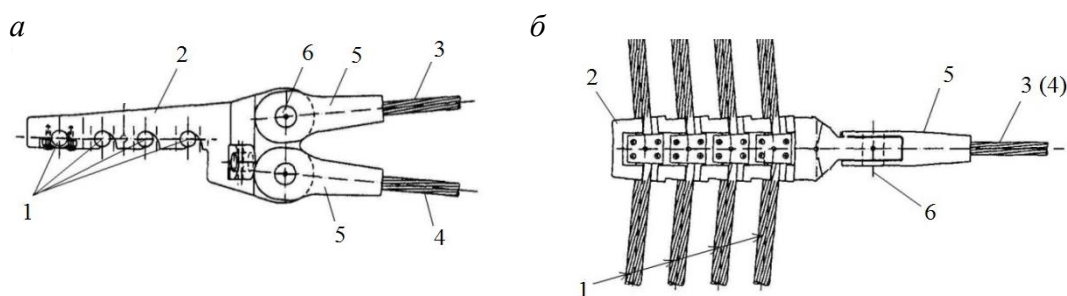
7.4.5 Радиальные ванты следует выполнять из закрытых спиральных канатов диаметром от 55 до 100 мм. Диаметр несущих тросов следует принимать по расчету до 40 % большим, чем стабилизирующих. Шаг распорок/подвесок – от 8 до 10 м, расстояние между радиальными вантовыми фермами по наружному периметру – от 10 до 15 м.

7.4.6 В овальных покрытиях, с планом, приближающимся к прямоугольнику, в закругленных углах следует увеличивать количество вантовых ферм и усиливать контур.

7.4.7 Сжатый наружный контур (рисунок 7.7, б) следует выполнять коробчатого сечения из стальных листов толщиной 30–100 мм, шириной от $D_{\text{ср}}/180$ до $D_{\text{ср}}/140$ и высотой от $D_{\text{ср}}/350$ до $D_{\text{ср}}/250$, (где $D_{\text{ср}}$ – средний размер покрытия по главным осям). Наружный контур следует проектировать многоугольным из прямолинейных отправочных марок длиной до 15 м. Расстояние между сдвоенными наружными или центральными кольцами по высоте следует принимать от 1/20 до 1/10 пролета, а для покрытий с центральным проемом от 1/4 до 1/3 вылета консоли.

7.4.8 В покрытиях с центральным проемом внутреннее кольцо следует выполнять в виде пакета из тросов закрытого типа (6–8 шт.) диаметром 50–100 мм, расположенных в один или два ряда по высоте (рисунок 7.12, а, б).

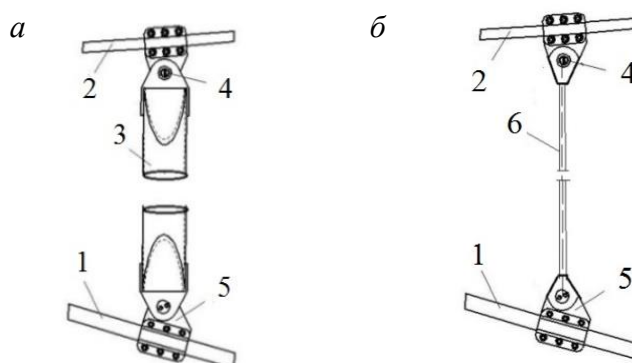
7.4.9 Соединение радиальных вант с элементами наружного контура (рисунок 7.7, б), центрального кольца (рисунок 7.12), распорками/подвесками (рисунок 7.13, а, б) следует выполнять с помощью вилочных разъемов или муфт.



а – разрез; б – план

*1 – тросы внутреннего кольца; 2 – соединительная деталь (литая или сварная);
3, 4 – тросы вантовой фермы; 5 – вилочный анкер; 6 – ось шарнира*

Рисунок 7.12 – Узел крепления радиальных тросов к внутреннему кольцу из набора тросов



а – с распорками; б – с подвесками; 1 – несущие ванты; 2 – стабилизирующие ванты; 3 – распорка; 4 – шарнир; 5 – проушина; 6 – подвеска

Рисунок 7.13 – Узлы соединения радиальных вант с распорками/подвесками

7.4.10 Наружный контур следует устанавливать на маятниковые колонны или скользящие опоры, опирающиеся на каркас сооружения. Общую устойчивость конструкции покрытия следует обеспечивать пространственной системой и включением в работу четырех тангенциальных связей по главным осям покрытия.

7.4.11 Расчет конструкций покрытий типа «велосипедное колесо» следует выполнять в геометрически нелинейной постановке с учетом податливости опорных колец.

7.4.12 Возможны решения конструкции покрытия типа «велосипедное колесо», в которых вместо предварительно напряженных радиальных вантовых ферм применяют радиальные фермы из прокатных или сварных профилей.

7.5 Висячие (вантовые) сети

7.5.1 Вантовые сети содержат два или более семейств вант, образующих ячейки прямоугольной, квадратной, треугольной, ромбической и других форм, образующих поверхность отрицательной гауссовой кривизны, что позволяет предварительно напрягать сетку (рисунок 7.14). Более эффективны системы с тросами двух направлений.

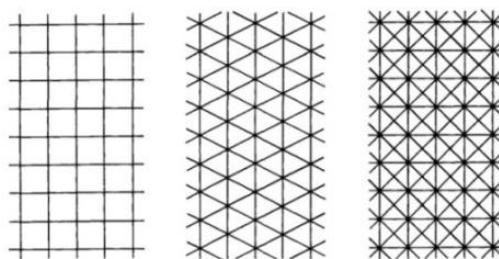
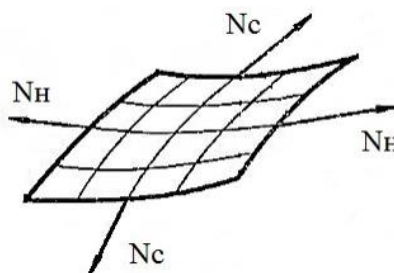


Рисунок 7.14 – Вантовые сетки с различной формой ячеек

7.5.2 В вантовых сетках тросы одного направления провисающие (несущие), а тросы другого направления – вспарушенные (стабилизирующие/напрягающие). Стрелы провиса/подъема следует принимать: для несущих нитей от $1/15$ до $1/8$ пролета, для стабилизирующих нитей от $1/25$ до $1/10$ пролета.

7.5.3 Стабилизация вантовых сеток (рисунок 7.15) осуществляется предварительным напряжением. Величину предварительного натяжения следует определять расчетом, при выполнении условия, чтобы при всех вариантах нагружения покрытия, стабилизирующие тросы оставались бы растянутыми.



N_n – усилия в несущих тросах; N_c – усилия в стабилизирующих тросах

Рисунок 7.15 – Схема предварительного напряжения вантовых сеток

7.5.4 Форму поверхности вантовых сетей следует создавать изменением граничных условий и конфигурации их границ, вводя внутренние стойки или жесткие контурные элементы, изменяя отношение усилий предварительного напряжения в тросах.

7.5.5 Несущие и натягающие тросы сетки в местах их пересечения следует фиксировать от взаимного сдвига узлами в виде болтовых хомутов, штампованных деталей или литыми накладками с пазами (см. рисунок 5.5).

7.5.6 В большепролетных сооружениях следует избегать плоских участков покрытия, для предотвращения аэродинамических колебаний.

7.5.7 Распор с пролетной конструкции следует воспринимать жестким замкнутым опорным контуром, наклонными или вертикальными арками, гибкими растянутыми трос-подборами.

7.5.8 Замкнутый жесткий опорный контур седловидного покрытия с вантовыми сетками, круглый или овальный в плане, должен иметь депланированную форму (рисунок 7.16).

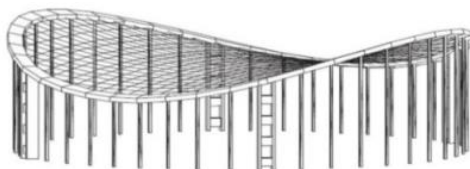
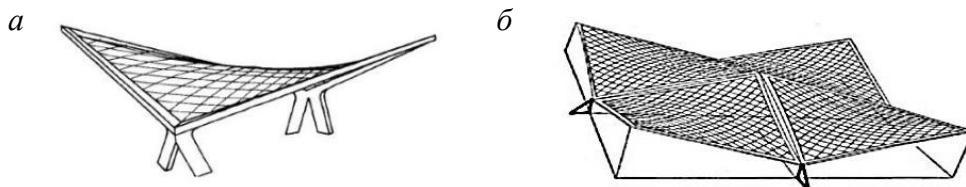


Рисунок 7.16 – Вантовая сеть на замкнутом жестком контуре на круглом/овальном плане

7.5.9 Вантовую сеть на жестком замкнутом контуре на прямоугольном плане следует применять как для отдельно стоящих сооружений (рисунок 7.17, а), так и для сочлененных оболочек (рисунок 7.17, б).

Геометрию ломанного рамного контура следует назначать исходя из обеспечения рекомендованных в 7.5.2 стрел провиса/подъема несущих/стабилизирующих тросов. Нижние углы контура следует объединять затяжками или в этих местах устанавливать пилоны.



а – для отдельно стоящих сооружений; б – для сочлененных оболочек

Рисунок 7.17 – Вантовая сеть на замкнутом контуре на прямоугольном плане

7.5.10 В покрытиях с вантовой сетью и опорным контуром из арок следует применять две наклонные арки, пересекающиеся в пятах и опертые

по периметру на колонны или стены (рисунок 7.18, *а*). Распор с покрытия следует воспринимать затяжкой или пилонами в узлах пересечения арок. Возможны решения с раздвижкой арок, образующих разомкнутый контур (рисунок 7.18, *б*).

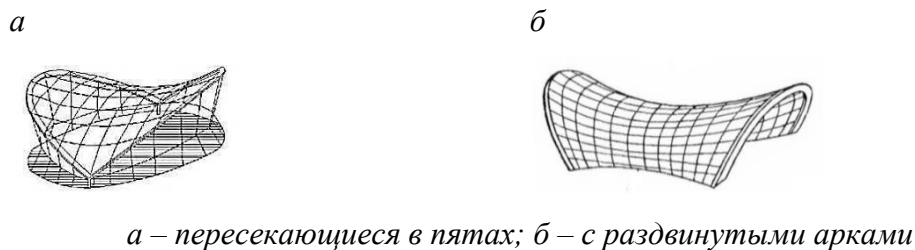


Рисунок 7.18 – Седловидное покрытие с двумя наклонными арками

Арки могут быть установлены наклонно или вертикально с наружными оттяжками (рисунок 7.19).

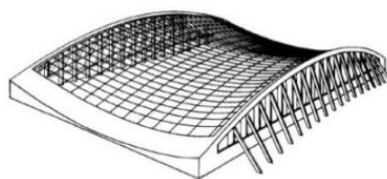


Рисунок 7.19 – Седловидное покрытие с вертикальными арками и оттяжками

7.5.11 Сочлененные покрытия следует формировать пересечением нескольких наружных и внутренних арок (рисунок 7.20, *а*, *б*) или без переломов по линиям сопряжения поверхности (рисунок 7.21).

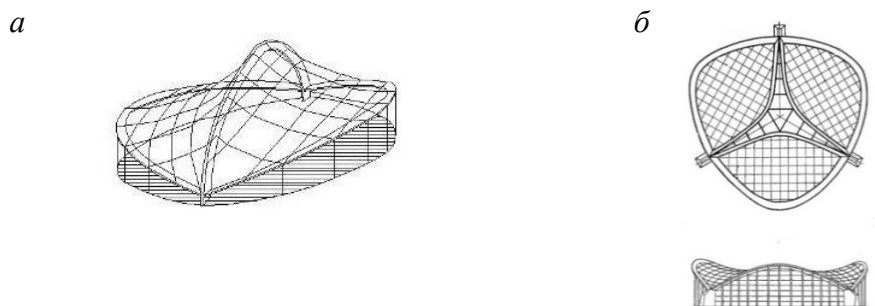
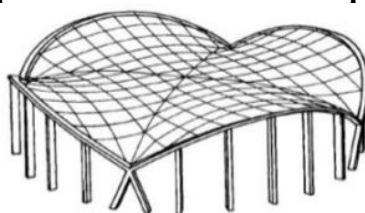


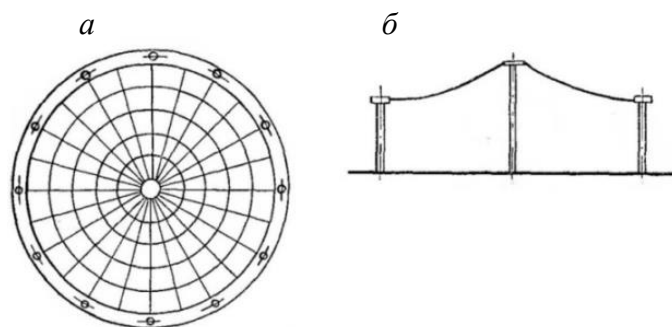
Рисунок 7.20 – Сочлененные покрытия из нескольких наружных и внутренних арок



**Рисунок 7.21 – Вантовая сеть с арочными контурами
и кусочно-гладкой поверхностью**

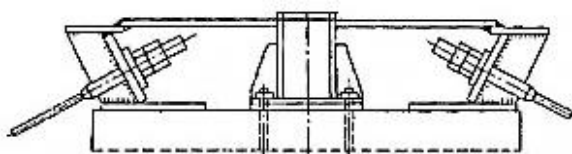
7.5.12 Шатровые вантовые оболочки, круглые в плане, следует применять в покрытиях пролетом до 350 м. Конструкция состоит из оболочки с поверхностью вращения отрицательной кривизны, с несущими радиальными и стабилизирующими кольцевыми тросами, наружного контура и внутреннего кольца, опертго на центральную опору (рисунок 7.22). Стрелу подъема оболочки следует назначать от $D/15$ до $D/7$. Общую устойчивость сооружения обеспечивают изгибной жесткостью заземленных в фундаменте периметральных колонн и центральной опоры. Очертание меридиана шатровой оболочки вращения следует определять уравнением гибкой нити, подвешенной к двум точкам на разных уровнях. Наклон касательной к меридиану оболочки в месте примыкания к наружному контуру должен быть около 5° для обеспечения наружного водоотвода. Стабилизацию покрытия следует осуществлять предварительным напряжением радиальных тросов.

Внутреннее кольцо диаметром от 0,05 до 0,15 наружного диаметра покрытия следует проектировать металлическим из прокатных или сварных профилей (рисунок 7.23).



а – план; б – разрез

Рисунок 7.22 – Шатровая сетчатая вантовая оболочка



**Рисунок 7.23 – Узел крепления радиальных тросов
к оголовнику центральной опоры шатровой оболочки**

7.5.13 Вантовые сетки, закрепленные на гибком опорном контуре (трос-подбор), стабилизируют натяжением системы стоек и оттяжек. Форму покрытия образуют расположением тросов-подборов по периметру сети и расположением стоек. Вантовые сетки с гибким опорным контуром следует применять в седлообразных покрытиях (рисунок 7.24, *а, б*) или шатровых (рисунок 7.25, *а*) с одной или несколькими промежуточными опорами (рисунок 7.25, *б*).

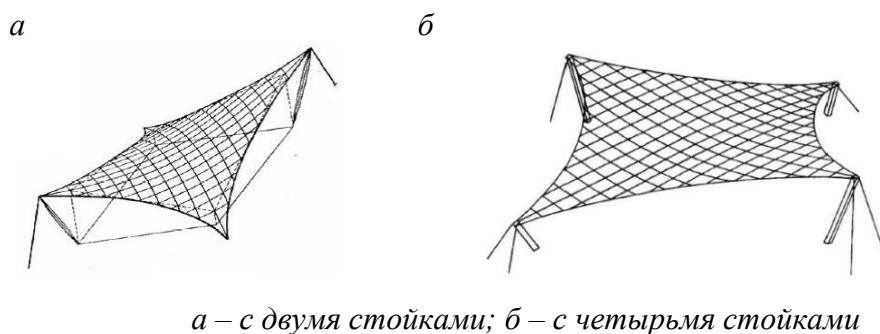


Рисунок 7.24 – Седлообразная вантовая сеть с гибким опорным контуром

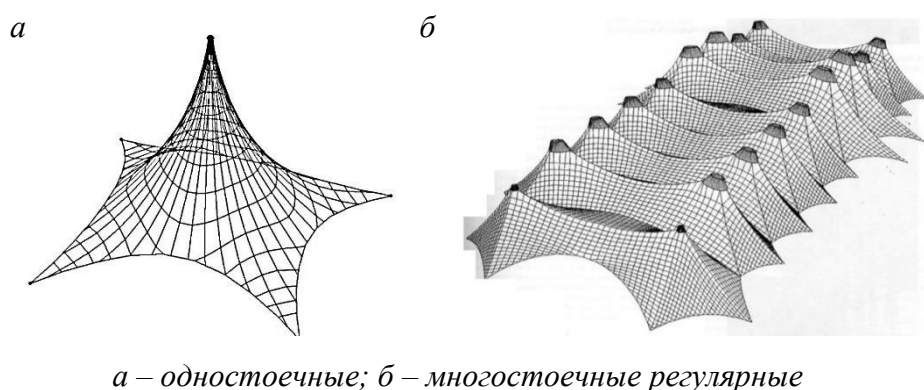


Рисунок 7.25 – Вантовые шатровые сетки на гибком опорном контуре

8 Мембранные (тонколистовые) висячие покрытия

8.1 Основные положения

8.1.1 Основными элементами мембранных покрытий являются металлическая тонколистовая пролетная конструкция, система вспомогательных элементов («постель», см. 8.1.8) и опорный контур.

8.1.2 Тонколистовыми конструкциями перекрывают пролеты от 24 до 300 м, с разнообразной формой плана: квадрат, прямоугольник, треугольник, круг, овал или комбинированного очертания.

8.1.3 Мембранные оболочки следует проектировать с формой поверхности нулевой, положительной и отрицательной гауссовой кривизны, а также составными, в виде комбинации оболочек с одинаковой или различной формой поверхности.

8.1.4 Элементы «постели» следует принимать гибкими, из полосы шириной от 300 до 500 мм и толщиной в от 1,3 до 1,5 раза больше толщины стальной мембраны, провисающими под собственным весом, или изгибно-жесткими. Шаг элементов «постели» следует принимать от 6 до 12 м, увязывая с шириной полотнища мембраны.

8.1.5 Стабилизацию тонколистовых покрытий следует осуществлять:

- а) увеличением собственной массы покрытия, в том числе с подвеской пригруза или технологического оборудования;
- б) введением в конструкцию покрытия элементов, обладающих изгибной жесткостью;
- в) предварительным напряжением оболочки.

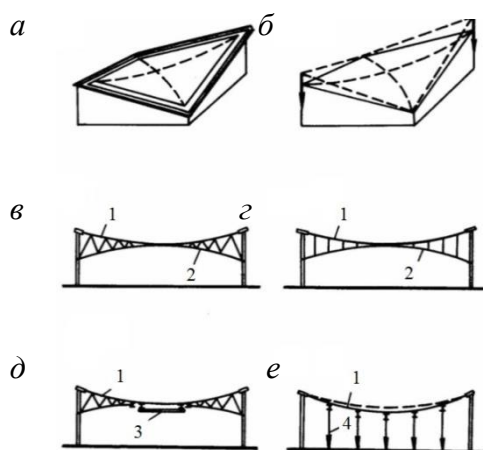
8.1.5.1 Увеличение собственной массы покрытия следует назначать с учетом обеспечения растягивающих напряжений в мембране при ветровом отсосе, уменьшения доли неравномерных временных нагрузок. Как правило, конструкция кровли совместно с мембраной и подвесным технологическим оборудованием обеспечивают требуемую для стабилизации массу покрытия.

8.1.5.2 Стабилизирующие изгибно-жесткие элементы следует располагать по линиям главных кривизн оболочки, использовать как

основание для монтажа мембраны, подвески акустического потолка. Ребра следует выполнять из прокатных или сварных элементов или в виде висячих ферм.

8.1.5.3 Стабилизацию тонколистовых покрытий предварительным напряжением следует осуществлять в зависимости от формы поверхности:

- оболочки отрицательной кривизны – притягиванием мембраны к контуру или изменением положения контура (рисунок 8.1, а, б);
- оболочки нулевой или положительной гауссовой кривизны – с помощью системы вантовых ферм (рисунок 8.1, в, г, д);
- цилиндрические оболочки – притягиванием концов поперечных ребер к основанию (рисунок 8.1, е).



а – притягиванием мембраны к контуру; б – изменением геометрии покрытия; в, г, д – с помощью натяжения вантовых ферм; е – притягиванием поперечных балок к основанию; 1 – мембрана; 2 – стабилизирующие ванты; 3 – центральный пригруз; 4 – оттяжки

Рисунок 8.1 – Стабилизация покрытия предварительным натяжением

8.1.6 Мембранные оболочки следует выполнять из отдельных тонколистовых полотнищ заводского изготовления шириной до 12 м, поставляемых на строительную площадку в рулонах и объединяемых на монтаже в сплошную пространственную систему. Полотнища следует располагать в направлении действия максимальных усилий в покрытии. Толщину мембраны следует принимать от 2 до 6 мм.

8.1.7 При существенной неравномерности усилий в мембране следует использовать листы усиления, которые крепят к основному полотнищу,

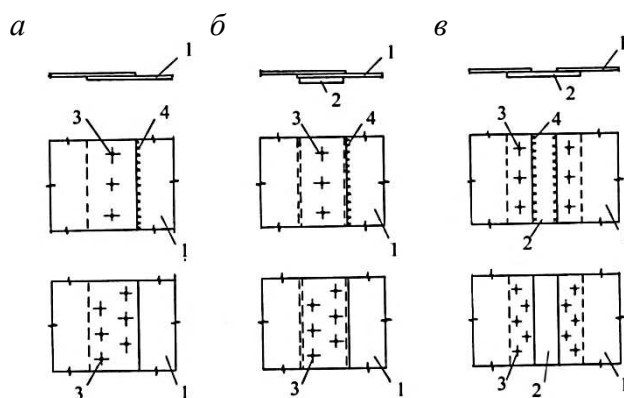
обеспечивая их совместную работу. Зазор между основным полотнищем и листами усиления по их периметру должен быть загерметизирован.

8.1.8 В провисающие мембранные покрытия следует включать систему элементов подкрепления, служащую на стадии монтажа «постелью», для укладки полотнищ мембраны. «Постель» состоит из направляющих и поперечных элементов.

8.1.8.1 Направляющие элементы длиной на пролет (или половину пролета для круглых или овальных в плане покрытий) следует располагать вдоль мембранных полотнищ шагом равным их ширине или в два раза чаще. Площадь сечения направляющих элементов следует включать в работу пролетной конструкции, обеспечивая совместность их работы.

8.1.8.2 Поперечные элементы «постели» (гнуемые или прокатные профили), объединяющие отдельные направляющие в пространственную систему, следует устанавливать шагом от 3 до 6 м. Их сечение определяют расчетом на нагрузку от собственного веса полотнища мембраны, ограничивая относительный прогиб до $1/200$ пролета. Крепление поперечных элементов к направляющим следует выполнять по неразрезной схеме.

8.1.9 Мембранные полотнища следует соединять между собой внахлестку на сварке (непрерывным угловым швом, точечной сваркой проплавлением) или на высокопрочных болтах (рисунок 8.2).

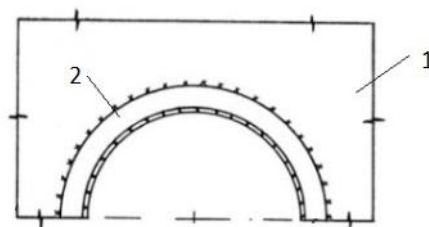


*а – без «постели»; б – с «постелью», внахлестку полотнищ мембраны;
в – с «постелью», внахлестку на направляющих элементах;
1 – мембрана; 2 – направляющие элементы «постели»;
3 – болты или сварные точки; 4 – сварка*

Рисунок 8.2 – Узлы сопряжения полотнищ мембраны

8.1.10 Один из концов направляющих элементов следует снабжать стержнем с нарезкой, для подтяжки к упорам на контуре, а другой крепить на монтажной сварке. Изгибно-жесткие направляющие элементы следует крепить к опорному контуру с применением шарнирного узла.

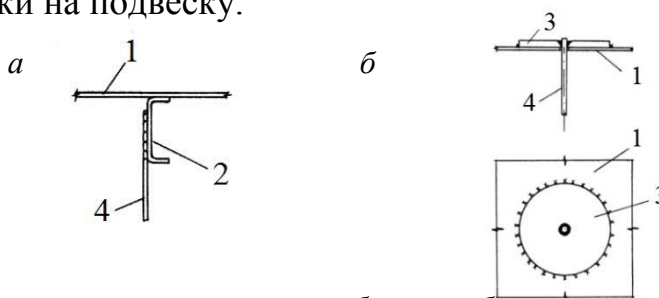
8.1.11 В пролетной конструкции, на участках удаленных от контура, допускается устройство проемов для установки зенитных фонарей, пропуска коммуникаций и т. п. При наличии элементов «постели», проемы следует располагать между ними. Проемы в плоскости мембраны следует усиливать листом с площадью поперечного сечения не менее половины площади ослабления мембраны (рисунок 8.3). Проемы следует проектировать круглой, овальной или многоугольной формы с закругленными углами.



1 – мембрана; 2 – лист усиления

Рисунок 8.3 – Узел усиления проемов в мембране

8.1.12 Крепление технологического оборудования к покрытию следует осуществлять на гибких подвесках к элементам «постели» (рисунок 8.4, а) или непосредственно к мембране с использованием распределительных шайб (рисунок 8.4, б), диаметр и толщину которых следует подбирать в зависимости от нагрузки на подвеску.



а – к элементам «постели»; б – к мембране;
1 – мембрана; 2 – поперечный элемент «постели»;
3 – распределительная шайба; 4 – подвеска

Рисунок 8.4 – Узлы крепления подвесок к мембране

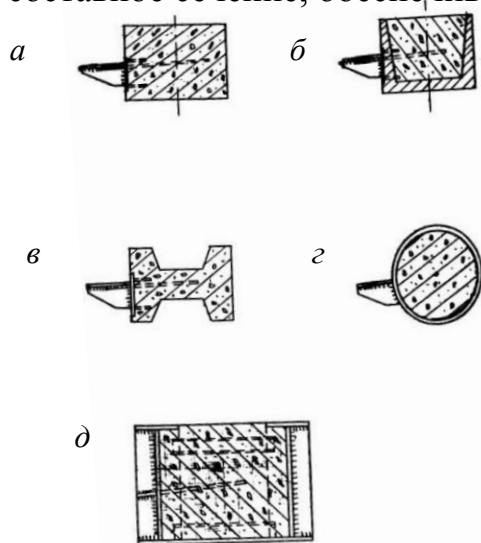
8.1.13 Опорный контур следует проектировать замкнутым или разомкнутым. При проектировании следует учитывать, что в первом случае

распоры воспринимают в уровне покрытия и на нижележащие конструкции передают в основном вертикальные усилия. Во втором – распоры передают на нижележащие конструкции.

8.1.14 Форму оси контура следует определять линией пересечения поверхности покрытия со стеновым ограждением. Контур с осью в виде плоской или пространственной кривой для упрощения изготовления следует проектировать из прямолинейных отрезков.

8.1.15 Опорный контур мембранных покрытий следует выполнять из железобетона или металла. Длину сборных элементов необходимо увязывать с шагом, расположенных по контуру опор.

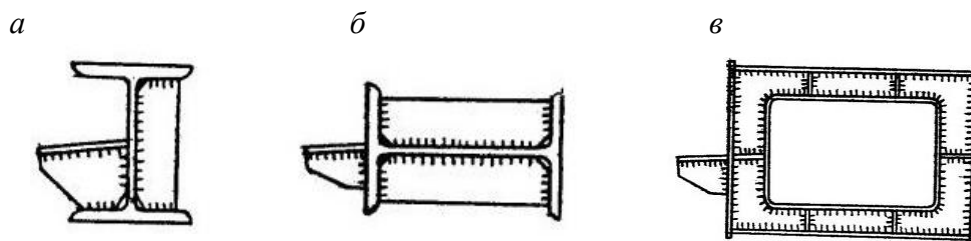
8.1.16 Форму поперечного сечения железобетонного контура следует принимать прямоугольной, двутавровой, трапецевидной, круглой (трубобетон) (рисунок 8.5). Сборные элементы контура следует выполнять корытообразного сечения с последующим заполнением полости монолитным бетоном на проектной отметке (рисунок 8.5, б). Допускаются решения, когда контур бетонируют в металлической опалубке (рисунок 8.5, д). Корытообразные сборные железобетонные элементы и металлическую опалубку железобетонного контура необходимо дополнительно рассчитывать на вес свежееуложенного бетона. На эксплуатационные нагрузки их следует рассчитывать, как составное сечение, обеспечивая их совместную работу.



*а – сборный или монолитный; б – сборно-монолитный; в – двутавровый;
г – трубобетонный; д – монолитный в металлической опалубке*

Рисунок 8.5 – Железобетонный опорный контур

8.1.17 В мембранных покрытиях малых и средних пролетов металлический контур следует выполнять в виде балок из прокатных или сварных профилей (рисунок 8.6 *а, б*), а в покрытиях больших пролетов – коробчатого сечения из листов усиленных ребрами и диафрагмами (рисунок 8.6, *в*). При существенной разнице в величинах усилий по длине контура металлические коробчатые элементы следует проектировать с несколькими типами поперечного сечения (приопорным и пролетным), отличающимися толщиной листов при сохранении габаритных размеров. При определении сечения контура следует учитывать, что кручение контура вызывает в нем дополнительные моменты в вертикальной плоскости.



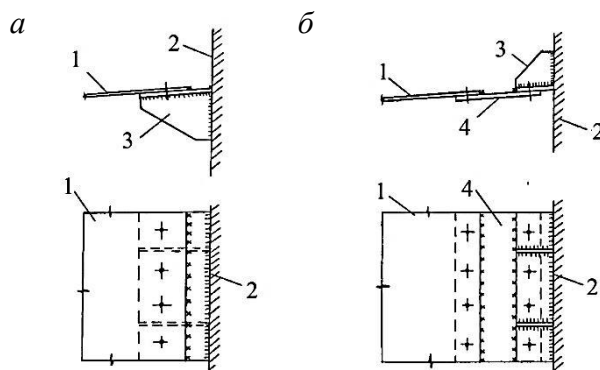
а, б – прокатной или сварной элемент; в – коробчатый сварной элемент

Рисунок 8.6 – Металлический опорный контур

8.1.18 Соединение мембраны с контуром следует выполнять непрерывным, с использованием опорного столика. Конструкция узла должна обеспечивать передачу цепных (нормальных и касательных) усилий с пролетной конструкции (рисунок 8.7). При проектировании необходимо предусматривать надежную анкеровку закладных деталей и усиление стенки стального короба в местах установки столика.

Плоскость опорного столика следует выполнять с наклоном, соответствующим углу касательной к поверхности мембранной оболочки в месте примыкания к контуру под максимальной нагрузкой. Линия действия усилий в мембране должна иметь минимальные отклонения от центра тяжести поперечного сечения контура. Опорный столик следует назначать толщиной не менее 1,3 толщины мембраны, шириной до 400 мм, подкрепленный вертикальными ребрами не реже чем через 300 мм (рисунок 8.7, *а*). Присоединение мембраны к опорному столику допускается

выполнять через листовую подкладку шириной не менее 150 мм (рисунок 8.7, б).



1 – мембрана; 2 – опорный контур; 3 – опорный столик; 4 – накладка

Рисунок 8.7 – Узел примыкания мембраны к опорному контуру

8.1.19 При проектировании следует учитывать, что:

- сечение контура необходимо определять расчетом с учетом податливости;
- при монтаже в контуре могут возникать моменты, превышающие моменты от эксплуатационных нагрузок;
- устойчивость контура в покрытиях на круглом и овальном плане обеспечивается его совместной работой с мембраной. Прямоугольный в плане контур, с недостаточной жесткостью, может потерять устойчивость;
- мембранное покрытие в своей плоскости является жестким диском;
- колонны и стены кроме вертикальных нагрузок воспринимают горизонтальные воздействия от перемещения контура (обжатие, изгибные деформации и температурные воздействия, давление ветра на стеновое ограждение и, при наличии, сейсмические воздействия);
- колонны, при $\lambda \geq 100$, следует соединять с опорным контуром и фундаментом жестко, а при $\lambda < 100$ - шарнирно с фундаментами и жестко с опорным контуром.

8.1.20 Расчетные длины колонн следует определять с учетом:

- шарнирного сопряжения колонн с контуром из плоскости стен, и соотношений изгибных жесткостей колонн и контура в плоскости стен;

- соединения колонн с фундаментами в расчетной схеме в соответствии с проектным решением (шарнир, упругое или жесткое защемление).

На стадии монтажа колонну следует рассматривать как консоль, защемленную в фундаменте. Если высота колонн более чем в 1,5 раза превышает шаг их расположения в плане, то по периметру сооружения следует вводить дополнительные горизонтальные распорки, уменьшающие расчетные длины стоек.

8.1.21 При проектировании необходимо обеспечивать общую устойчивость сооружения в период его монтажа и эксплуатации, за счет:

а) вертикальных связей между колоннами по осям симметрии сооружения;

б) вертикальных диафрагм, совмещенных со стенами лестничных клеток или другими конструктивными элементами. В круглых (овальных) в плане покрытиях контур следует крепить к вертикальным диафрагмам с помощью связей, допускающих радиальные перемещения, но препятствующих его тангенциальным перемещениям.

8.1.22 При проектировании следует учитывать, что стальные мембранные оболочки без огнезащиты имеют предел огнестойкости R 45 по СП 2.13130.

8.2 Мембранные висячие сплошные оболочки различных конструктивных систем

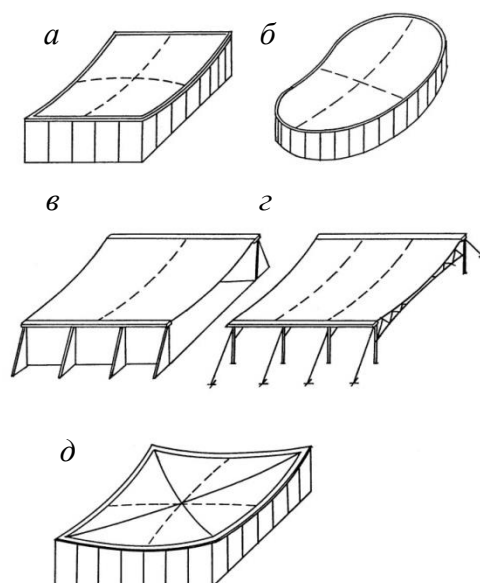
8.2.1 Цилиндрические (нулевой гауссовой кривизны) мембранные висячие оболочки

8.2.1.1 Цилиндрические оболочки разделяются на:

а) покрытия на прямоугольном (рисунок 8.8, а) или овальном (рисунок 8.8, б) плане с замкнутым контуром;

б) покрытия на прямоугольном плане с разомкнутым контуром (рисунок 8.8, в). В этом случае пролетную часть следует подкреплять вантовыми (рисунок 8.8, г) или жесткими фермами.

Покрытия с замкнутым контуром, возможно, выполнять составным, в виде комбинации цилиндрических поверхностей (рисунок 8.8, *д*).



*а, б – на прямоугольном и овальном плане с замкнутым опорным контуром;
в, г – на прямоугольном плане с разомкнутым опорным контуром; д – составные
цилиндрические оболочки на прямоугольном плане*

Рисунок 8.8 – Типы конструкций цилиндрических мембранных покрытий

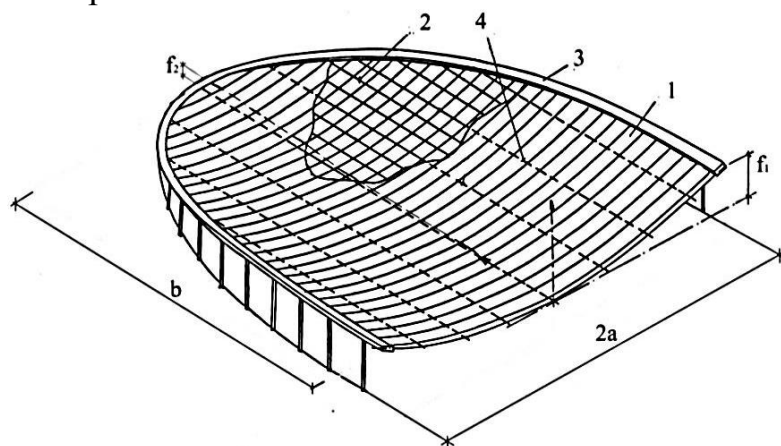
8.2.1.2 Оболочки с замкнутым прямоугольным контуром следует применять для покрытий пролетом до 120 м, вытянутых в плане вдоль провисающей стороны покрытия при соотношении сторон от 1 до 5 или вдоль прямолинейной образующей при соотношении сторон от 1 до 1,5.

Овальные в плане оболочки следует применять для покрытий пролетом до 200 м с соотношением осей до 1,5 и расположением провисающего направления вдоль короткой оси.

8.2.1.3 Цилиндрические покрытия следует выполнять со стрелой провиса f/L от 1/20 до 1/10. В них следует предусматривать мероприятия по их стабилизации в соответствии с 8.1.5.

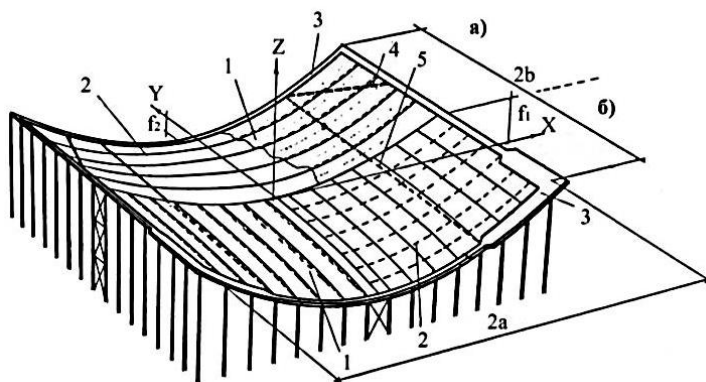
8.2.1.4 Цепные усилия с цилиндрической мембраны с разомкнутым контуром, работающей в одном направлении, следует воспринимать нижележащими конструкциями пилонов (рисунок 8.8, *в*) или оттяжками (рисунок 8.8, *г*). Рекомендуется при возможности в качестве опор использовать рамные конструкции пристроек, трибун и т.п.

8.2.1.5 Поверхность цилиндрических оболочек с замкнутым контуром, работающим на растяжение в двух направлениях, на овальном (рисунок 8.9) или прямоугольном (рисунок 8.10) плане следует задавать с небольшой впадушенностью. Стрелу провиса f_1 следует принимать в интервале от $a/10$ до $a/5$; стрелу впадушенности $f_2 = f_1/5$, где a – половина пролета покрытия в провисающем направлении.



*1 – мембрана; 2 – элементы «постели»; 3 – опорный контур;
4 – дополнительная затяжка;
a – половина пролета покрытия в провисающем направлении;
б – половина пролета покрытия в впадушенном направлении*

Рисунок 8.9 – Цилиндрическое покрытие на овальном плане



*a – металлический опорный контур и продольное расположение полотнищ мембраны;
б – железобетонный опорный контур и поперечное расположение полотнищ мембраны;
Размер покрытия в плане: 2a – в провисающем направлении, 2b – в впадушенном направлении; 1 – мембрана; 2 – элементы «постели»; 3 – опорный контур;
4 – распорки; 5 – регулирующая монтажная затяжка*

Рисунок 8.10 – Цилиндрическое покрытие на прямоугольном плане

8.2.1.6 Пролетную конструкцию оболочек с замкнутым контуром на прямоугольном плане следует собирать на ортогональной системе элементов «постели» из прямоугольных полотнищ, располагая их, в зависимости от

направления максимальных усилий, вдоль (рисунок 8.10, а) или поперек пролета (рисунок 8.10, б).

В углах контур следует уширять или вводить распорки для восприятия изгибающих моментов. Длину углового уширения контура следует принимать 0,2 пролета, соответствующую ширину – в три раза больше ширины контура в пролетной части. Прямолинейные бортовые элементы следует выполнять повернутыми внутрь по касательной к поверхности оболочки в месте примыкания к контуру.

8.2.1.7 Сочлененные оболочки, образованные комбинацией цилиндрических поверхностей (см. рисунок 8.8, д), следует применять в покрытиях зданий пролетом до 100 м с соотношением сторон от 1:1 до 1:2.

При проектировании следует учитывать, что пролетная конструкция в этих системах в каждом из секторов между диагональными элементами, работает в одном направлении, а цепные усилия с мембраны через диагональные элементы передаются в углы опорного контура. Поверхность оболочки следует задавать пониженной в середине сторон контура, по отношению к центру покрытия. Крепление мембраны к криволинейному контуру следует осуществлять с применением листовых компенсаторов.

8.2.2 Тонколистовые висячие оболочки положительной гауссовой кривизны

8.2.2.1 Провисающие мембранные оболочки на круглом или овальном плане следует применять в покрытиях пролетом до 250 м. Относительную стрелу провиса следует назначать от $D/30$ до $D/20$, меньшая величина соответствует покрытиям меньших пролетов.

8.2.2.2 Пролетную конструкцию следует собирать из прямоугольных или трапециевидных тонколистовых полотнищ, подкреплённых ортогональной (диаметром до 100 м) или радиально-кольцевой системой (диаметром более 100 м) элементов («постель») (рисунок 8.11). В последнем случае в середине покрытия следует устанавливать кольцо.

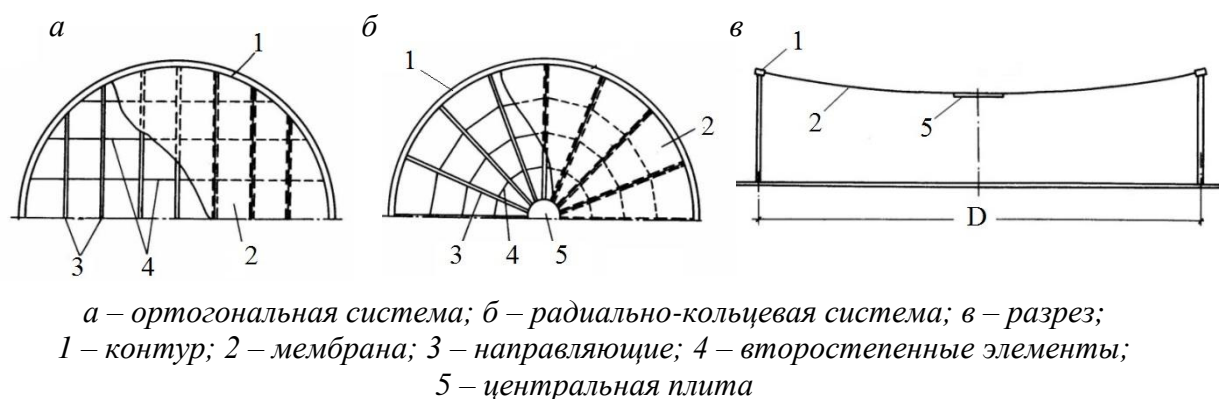
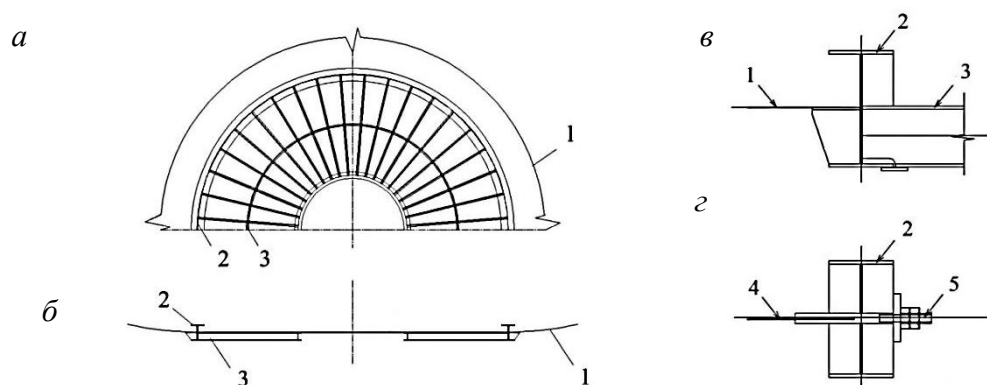


Рисунок 8.11 – Схемы расположения подкрепляющих элементов

8.2.2.3 Площадь сечения направляющих элементов, следует включать в работу оболочек, учитывая, что при радиально-кольцевой системе «постели» обеспечивается переменная приведенная толщина пролетной конструкции, соответствующая эпюре радиальных усилий в оболочке.

8.2.2.4 Форму центральной плиты следует принимать подобной очертанию наружного контура, а размеры определять из условия закрепления в ней радиальных элементов подкрепления и мембраны, но не менее 0,1 диаметра покрытия. Центральную плиту следует проектировать плоской, из прокатных или сварных профилей (рисунок 8.12, а, б). Внутри кольца следует располагать балочную клетку. Мембрана должна примыкать к плите по центру контура (рисунок 8.12, в), натяжные болты (хвостовики), которыми заканчиваются радиальные направляющие «постели», следует устанавливать со стороны центральной плиты (рисунок 8.12, г).



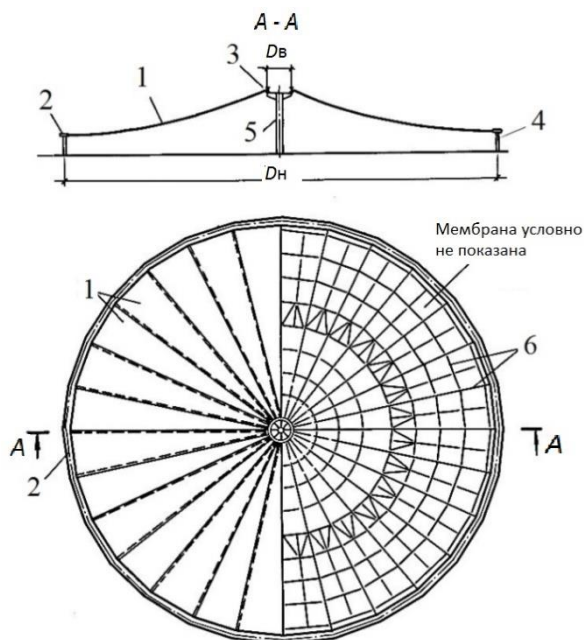
*а – план плиты; б – разрез; в – узел примыкания мембраны; г – узел примыкания радиального элемента «постели»;
1 – мембрана; 2 – контурная балка центральной плиты;
3 – балочная клетка; 4 – радиальный элемент «постели»; 5 – натяжной болт*

Рисунок 8.12 – Центральная плита

8.2.3 Тонколистовые шатровые оболочки

8.2.3.1 Шатровые оболочки на круглом плане применяют в покрытиях зданий и сооружений пролетом от 30 до 350 м. Конструкция (рисунок 8.13) состоит из мембранной оболочки, наружного контура и внутреннего кольца, опертого на центральную опору. Мембрану следует подкреплять радиально-кольцевой системой «постели», которую включают в работу пролетной конструкции. Внутреннее кольцо следует устанавливать выше отметки наружного опорного контура, с учетом относительной стрелы подъема оболочки в интервале от $D/15$ до $D/7$. Общую устойчивость сооружения следует обеспечивать пространственной мембранной, изгибной жесткостью периметральных колонн и центральной опоры.

8.2.3.2 Геометрию шатрового покрытия следует определять, используя уравнение оси гибкой нити, подвешенной к двум точкам на разных уровнях, под действием трапецеидальной монтажной нагрузки. При этом необходимо соблюдение условия наклона касательной к меридиану оболочки в месте примыкания к наружному контуру – около 5° для обеспечения наружного водоотвода.

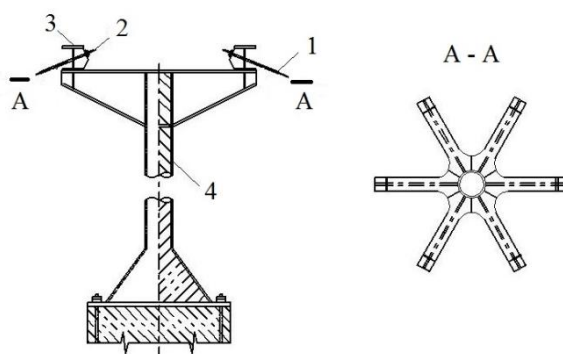


*1 – наружный опорный контур; 2 – мембрана; 3 – внутреннее кольцо;
4 – периметральные колонны; 5 – центральная опора; 6 – радиальные и кольцевые
элементы «постели»*

Рисунок 8.13 – Конструктивная схема шатрового мембранного покрытия

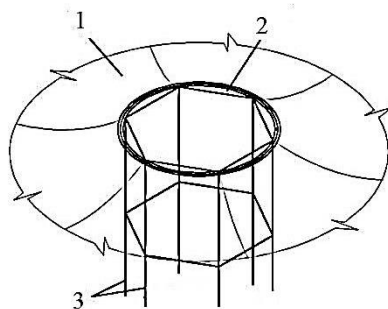
8.2.3.3 Внутреннее кольцо следует проектировать металлическим из прокатных или сварных профилей двутаврового сечения. Диаметр кольца следует определять из условия закрепления в нем радиальных направляющих элементов и мембраны или технологических требований в интервале от 0,05 до 0,15 наружного диаметра покрытия. Внутреннее кольцо следует свободно устанавливать на центральную опору. В период монтажа внутреннее кольцо должно быть зафиксировано временными креплениями.

8.2.3.4 Высоту опоры следует определять, как сумму высоты периметральных колонн и стрелы подъема покрытия. Для покрытий диаметром менее 100 м центральную опору допускается выполнять из трубобетона (рисунок 8.14). При больших размерах покрытия центральную опору следует выполнять в виде круговой железобетонной рамы со стойками, объединенными кольцевыми ригелями, диаметром равным диаметру внутреннего кольца (рисунок 8.15). Крепление центральной опоры к фундаменту следует выполнять жестким.



1 – мембрана; 2 – натяжной болт; 3 – внутреннее кольцо; 4 – трубобетонная стойка

Рисунок 8.14 – Конструкция центральной опоры при диаметре покрытия до 100 м



1 – мембрана; 2 – внутреннее кольцо; 3 – центральная опора

Рисунок 8.15 – Конструкция центральной опоры при диаметре покрытия более 100 м

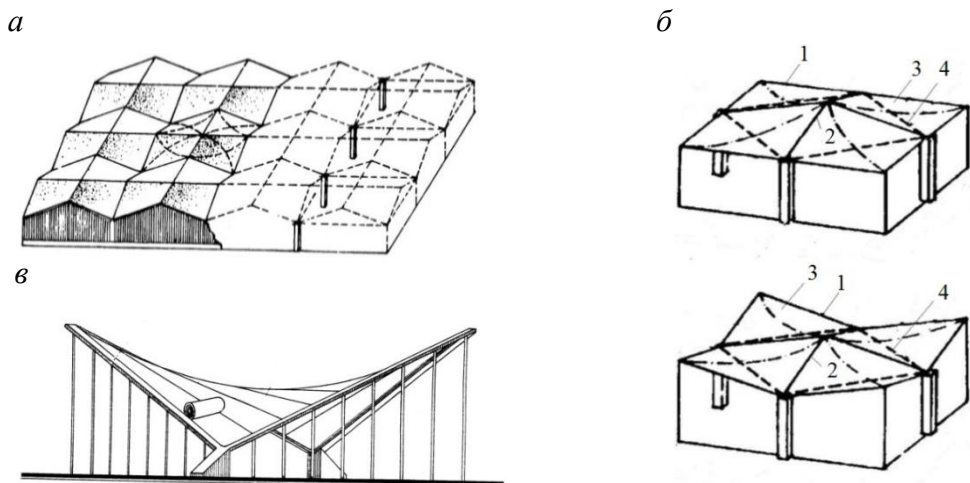
8.2.4 Мембранные оболочки седловидной формы

8.2.4.1 Мембранные оболочки седловидной формы следует применять:

а) в покрытиях многопролетных зданий с укрупненной сеткой колонн 18×18 , 24×24 м (рисунок 8.16, а, б);

б) в покрытиях отдельно стоящих зданий в виде одной (рисунок 8.16, в) или системы сочлененных оболочек на прямоугольном или овальном плане пролетом от 30 до 100 м.

8.2.4.2 Седловидное покрытие состоит из пролетной конструкции (мембраны) и опорного контура в виде замкнутой прямоугольной в плане ломанной рамы, плоских арок или пространственных замкнутых кривых. Для восприятия горизонтальных усилий, передающихся с опорного контура на нижележащие конструкции, необходимо предусматривать постановку затяжек или пилонов, соединяющих нижние углы покрытия.



а – многопролетное покрытие из сочлененных оболочек; б – конструктивные элементы секции сочлененных оболочек; в – схема покрытия отдельно стоящего здания на прямоугольном плане;

1 – наружный опорный контур; 2 – внутренний опорный контур; 3 – ячейки (мембранные оболочки); 4 – затяжки

Рисунок 8.16 – Мембранные оболочки седловидной формы

8.2.4.3 Пролетную конструкцию собирают из тонколистовых прямоугольных полотнищ, располагаемых вдоль линейной образующей. Ширина полотнищ определяется геометрией поверхности покрытия, исходя из условия ограничения зазоров между стыкуемыми полотнищами и не менее $1/10$ размера стороны покрытия. Стрелу провиса/подъема мембраны, в

вогнутом и выпуклом направлении, следует принимать соответственно равной от $1/20$ до $1/15$ пролета.

8.2.4.4 При проектировании следует учитывать, что оболочка в одном из направлений всегда сжата, что приводит к потере ее местной устойчивости. Для предотвращения этого и включения в работу мембраны в обоих направлениях ее следует предварительно напрягать.

Для упрощения монтажа допускается применение оболочки без предварительного напряжения, работающей в основном в одном растянутом направлении.

8.2.5 Первоначально плоские мембранные оболочки

8.2.5.1 Такие оболочки следует применять в покрытиях многопролетных зданий с укрупненной сеткой колонн 18×18 , 24×24 м (рисунок 8.17), а также отдельно стоящих зданий на прямоугольном или овальном плане пролетом от 30 до 70 м при соотношении сторон до 1:1,5.

8.2.5.2 Конструкцию следует собирать на спланированной поверхности земли или подмостях. После подъема покрытия на проектную отметку или раскружаливания мембрана провисает со стрелой провиса не менее $1/60$ пролета. Большие складки в углах покрытия длиной до $1/10$ диагонали следует удалять, их разрезкой, выправлением и приваркой накладки.

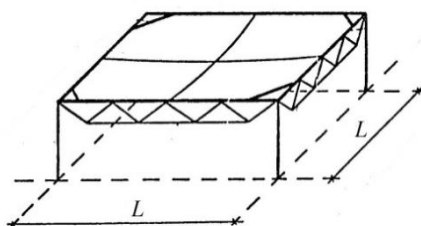


Рисунок 8.17 – Первоначально плоские многопролетные мембранные покрытия зданий с укрупненной сеткой колонн

8.2.5.3 Сопряжение бортовых элементов в углах следует выполнять с применением вутов, высотой не менее трети высоты контура и размером в плане не менее $1/10$ его длины, располагая вут симметрично относительно нейтральной оси контурного элемента. В случае выполнения опорного

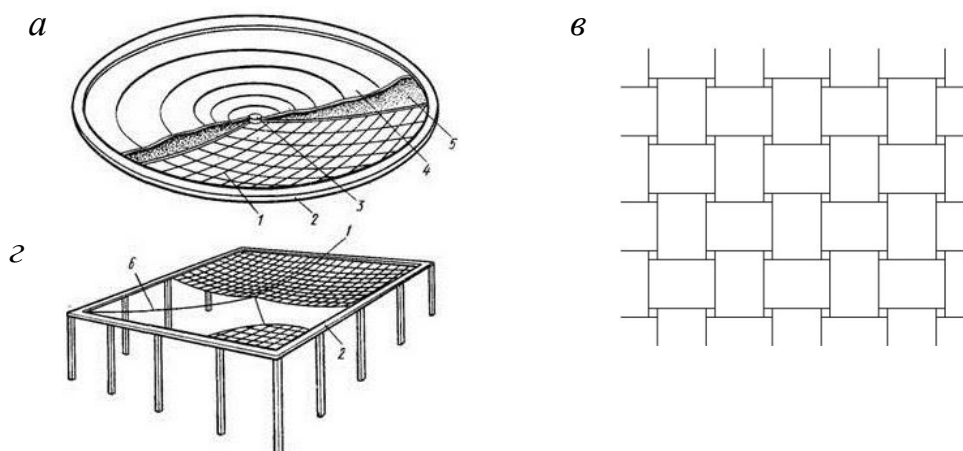
контура из металла или сборного железобетона вуты допускается заменять распорками.

8.2.5.4 Мембрана, закрепленная по всему периметру к опорному контуру, обеспечивает его устойчивость в плоскости мембраны. При проектировании следует учитывать, что в случае сравнительно гибкого контура он может потерять устойчивость в горизонтальной плоскости.

8.3 Ленточные покрытия

8.3.1 Ленточные покрытия из переплетенных лент и двухслойные седловидные оболочки следует собирать из отдельных не соединяемых между собой тонких (от 1 до 2 мм) металлических лент шириной от 1 до 2 м. Ленточные покрытия характеризуются отсутствием заводского передела материала и монтажных соединений в пролетной части покрытия. В качестве материалов для лент следует использовать алюминиевые сплавы, нержавеющую, оцинкованную или атмосферостойкую сталь.

8.3.2 Покрытия из переплетённых лент с провисающей поверхностью, следует применять в покрытиях пролетом до 50 м с круглым или овальным очертанием в плане (рисунок 8.18, а). Такие же покрытия с подкрепляющей системой (рисунок 8.18, б), имеющие провисающую составную поверхность, следует применять в покрытиях с многоугольным очертанием в плане (треугольник, прямоугольник и т.д.) пролетом до 50 м.



*а - на круглом/овальном плане; б - на многоугольном плане; в - фрагмент покрытия
1 - мембрана; 2 - наружный опорный контур; 3 - внутренний водоотвод; 4 - рулонная кровля; 5- утеплитель; 6 - элементы подкрепления.*

Рисунок 8.18 – Покрытия из переплетенных лент

8.3.2.1 Несущая часть покрытия состоит из замкнутого опорного контура и пролетной конструкции, образованной переплетением лент под углом 90° . По лентам следует укладывать пароизоляцию, плиточный утеплитель, стяжку и рулонный ковер. Стабилизация осуществляется собственным весом покрытия, водоотвод - внутренний. Возможно устройство светового или аэрационного фонаря, с обрамлением проема усиливающими накладками.

Опорный контур следует выполнять из металла или железобетона (монолитного или сборного).

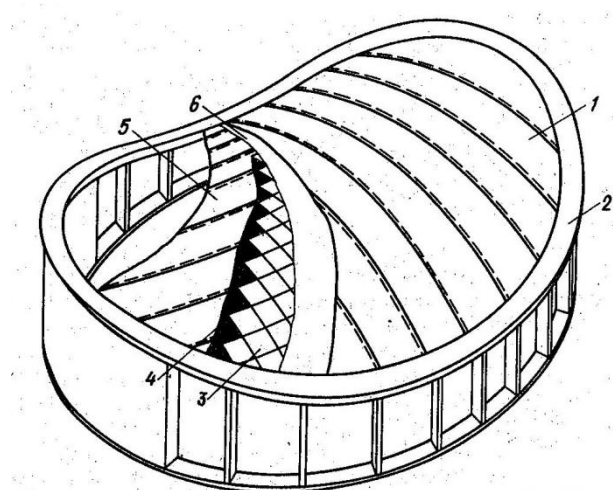
8.3.2.2 Рулонированные ленты следует раскатывать на проектной отметке с использованием плоских подмостей или внизу на спланированной поверхности, с последующим подъемом. При раскатке лент на плоскости стрела провиса оболочки после раскручивания или подъема составляет около $1/60$ пролёта. Для получения большей стрелы провиса ленточной системе следует задавать рыхлость за счет установки во время монтажа в местах пересечения лент прокладок длиной, равной ширине лент, и высотой, определяемой расчетом в зависимости от требуемой стрелы провиса.

8.3.3 Двухслойные ленточные покрытия имеют седловидную форму поверхности и предназначены для зданий с прямоугольным, овальным или более сложным очертанием плана. Оболочка состоит из двух слоев лент. Нижний слой покрытия образуют провисающими несущими лентами. В ортогональном направлении выпуклостью вверх следует укладывать ленты верхнего стабилизирующего слоя. Жесткость и слитность оболочки следует обеспечивать предварительным напряжением лент (рисунок 8.19).

8.3.3.1 Ленты следует ориентировать вдоль линий главных кривизн поверхности покрытия. Очертание несущих лент должно отвечать кривой давления от одного из основных видов вертикальной нагрузки (квадратная парабола, либо дуга окружности для пологих покрытий).

8.3.3.2 В отапливаемых зданиях, между несущими и стабилизирующими лентами следует укладывать плиточный утеплитель с пределом прочности на

сжатие не ниже 0,1 МПа. Между утеплителем и лентами нижнего слоя должна быть предусмотрена пароизоляция. По плиточному утеплителю следует наклеивать один слой гидростеклоизола. Между нахлестнутыми кромками стабилизирующих лент следует располагать герметик, обжатие которого при предварительном напряжении должно обеспечивать водонепроницаемость оболочки.



*1 - стабилизирующие ленты; 2 - опорный контур; 3 - эффективный утеплитель;
4 — пароизоляция; 5 несущие ленты; 6 - антифрикционный слой*

Рисунок 8.19 – Седловидное покрытие из металлических лент

9 Комбинированные системы

9.1 Основные положения

9.1.1 Комбинированные системы пространственных покрытий включают структурно объединенные растянутые элементы и элементы, работающие на сжатие и изгиб.

9.1.2 В комбинированных системах следует использовать соединение распорной (вантовая система) с безраспорной системой (балка, ферма), которые разнообразными способами объединяют в сложные пространственные структуры.

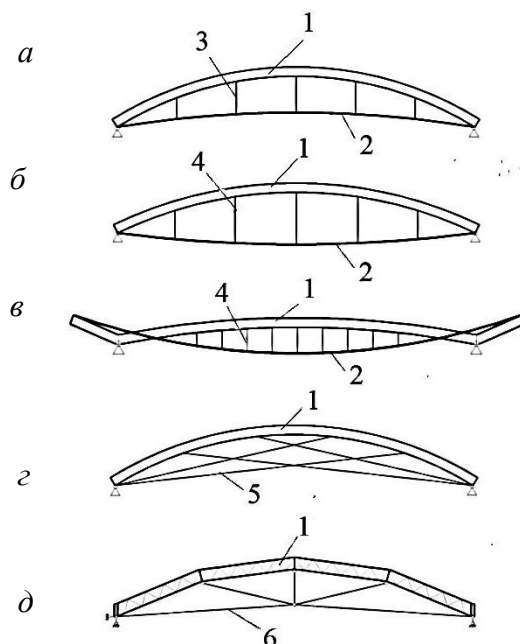
9.1.3 Область применения комбинированных систем – покрытия пролетом до 300 м. По конструктивным особенностям комбинированные системы разделяют на арочно-вантовые, шпренгельные, подвесные и консольные.

9.2 Арочно-вантовые системы

9.2.1 Арочно-вантовые комбинированные системы состоят из жесткого криволинейного верхнего пояса, растянутого нижнего пояса, объединенных между собой гибкими элементами в виде затяжек, подвесок или сжатых распорок (рисунок 9.1).

9.2.2 Верхний пояс (арку) следует выполнять сплошного или сквозного сечения, постоянной или переменной высоты, равной соответственно от $L/80$ до $L/50$ или от $L/60$ до $L/30$, определяемой расчетом, в зависимости от пролета (L), соотношения величин постоянной и временной нагрузок. Пояса и решетку арок сквозного сечения следует выполнять из труб, двутавров, парных уголков или швеллеров. Решетку следует проектировать треугольной (с дополнительными стойками) или раскосной. Стойки следует устанавливать нормально к поясам, так же как и прогоны покрытия, которые (совместно со связями) одновременно обеспечивают устойчивость плоских

арок из их плоскости. Размер панелей решетчатых арок следует принимать равной высоте арочной фермы.



*1 – жесткий криволинейный верхний пояс; 2 – растянутый нижний пояс;
3 – подвески; 4 – распорки; 5 – лучевые затяжки; 6 – веерные затяжки*

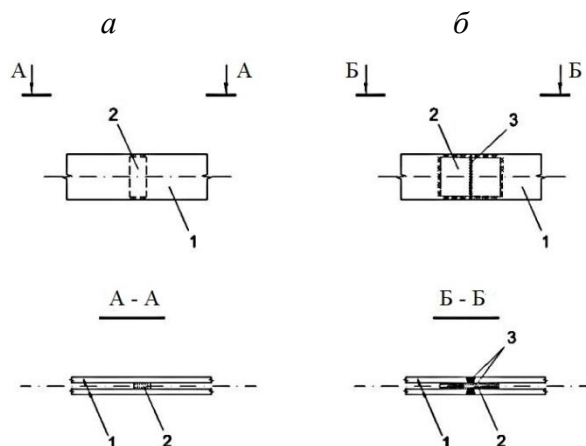
Рисунок 9.1 – Варианты арочно-вантовых комбинированных систем

9.2.3 Нижний пояс следует выполнять из предварительно напряженных стальных тросов. Рациональное решение сечения нижнего пояса – две полосы, расположенные вертикально и объединенные между собой прокладками (рисунок 9.2, а), шагом равным $80i$, где i – минимальный радиус инерции сечения одной полосы. Монтажный стыковой шов представлен на рисунке 9.2, б.

9.2.4 Арки следует устанавливать шагом от $L/10$ до $L/5$, с уменьшением шага при увеличении пролета покрытия. Высоту подъема арки следует принимать в интервале от $L/10$ до $L/5$.

Возможны схемы, где вспарушенную затяжку объединяют с аркой при помощи подвесок (рисунок 9.1, а), на которых следует устанавливать фаркопы для регулирования геометрии арки и предварительного натяжения затяжки. Предварительное напряжение комбинированной системы с криволинейным верхним поясом и провисающей затяжкой (рисунок 9.1, б),

объединенных сжатыми стойками следует выполнять за счет раздвижки стоек.



*а – промежуточная прокладка; б – стыковой шов
1 – растянутые полосы; 2 – прокладки; 3 – стыковой сварной шов*

Рисунок 9.2 – Вариант сечения нижнего пояса из двух полос, расположенных вертикально

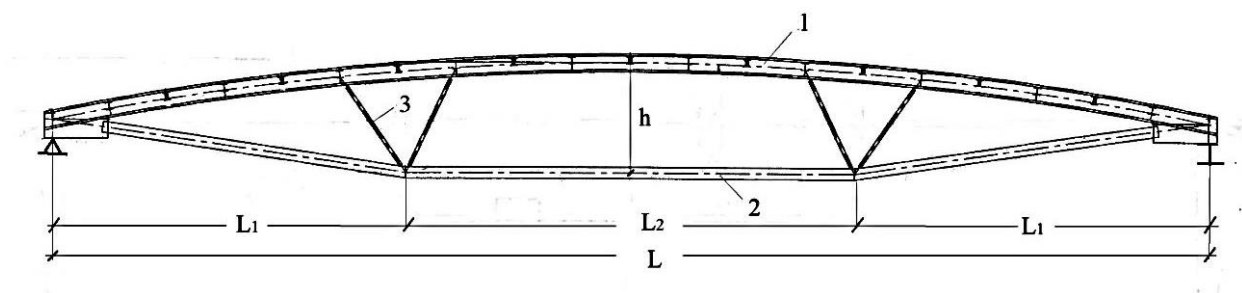
9.2.5 При проектировании следует учитывать, что лучевые и веерные предварительно напряженные затяжки (рисунок 9.1, з, д) обеспечивают общую устойчивость арки в ее плоскости, уменьшают свободную длину отдельных участков, повышают жесткость арки при неравномерной нагрузке, уменьшают в ней величины изгибающих моментов.

В веерной схеме (рисунок 9.1, д) с точкой схода затяжек по середине пролета, подъем центрального узла пересечения затяжек, относительно опор, следует принимать равным четверти подъема верхнего арочного пояса, а число панелей верхнего пояса – до 9.

9.3 Шпренгельные системы

9.3.1 Комбинированные шпренгельные системы (рисунок 9.3) включают верхний и нижний пояса, объединенные между собой двумя парами V-образных стоек. Расстояние между поясами в середине пролета следует принимать от $L/10$ до $L/8$. Соотношение пролетов L_2/L_1 следует принимать по расчету в интервале от 1,0 до 1,25.

9.3.2 Верхний пояс ломаного очертания следует проектировать из прокатного или сварного двутавра высотой от $L/90$ до $L/60$. Нижний пояс следует проектировать из двух вертикальных полос, в зависимости от пролета, толщиной от 12 до 50 мм и высотой от 200 до 500 мм в соответствии с требованиями 9.2.3 (рисунок 9.2). V-образные стойки следует выполнять из труб или прокатных (сварных) двутавров.



*1 – жесткий криволинейный верхний пояс;
2 – растянутый нижний пояс; 3 – V-образные стойки*

Рисунок 9.3 – Комбинированная шпренгельная система

9.3.3 Сопряжения нижнего пояса с верхним поясом и V-образными стойками выполняются в двух вариантах:

а) шарнирные узлы (рисунок 9.4);

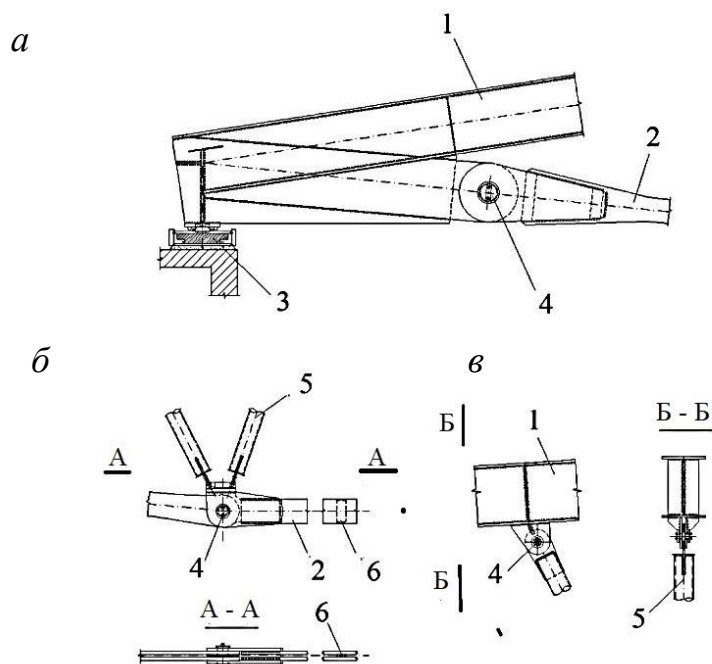
б) жесткие узлы, для упрощения изготовления конструкций. В этом варианте в опорных узлах оси верхнего и нижнего пояса рационально не центрировать на опоре, а проектировать с эксцентриситетом (рисунок 9.5), определяемым расчетом.

Одну из опор шпренгельной системы необходимо выполнять шарнирно неподвижной, а другую – шарнирно подвижной.

9.3.4 Устойчивость сжато-изогнутого верхнего пояса в горизонтальной плоскости следует обеспечивать прогонами и связевым блоком в средней части покрытия. В случае стрелы провиса нижнего пояса более $L/30$ и отсутствии динамических воздействий на несущие конструкции покрытия, связи из его плоскости допускается не устанавливать.

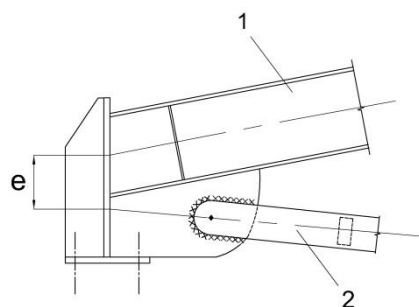
9.3.5 Расчеты комбинированных арочно-вантовых систем следует выполнять с учетом геометрической нелинейности и последовательности монтажа.

9.3.6 Для включения в работу нижнего пояса, его следует выполнять прямолинейным без начальных отклонений от проектной геометрии и погибей в обеих плоскостях.



а – опорный узел объединения нижнего и верхнего поясов; б – узел объединения нижнего пояса со стойками; в – узел объединения верхнего пояса со стойками;
1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – опорная часть;
4 – цилиндрический шарнир; 5 – V-образная стойка, 6 – прокладка

Рисунок 9.4 – Конструктивные узлы



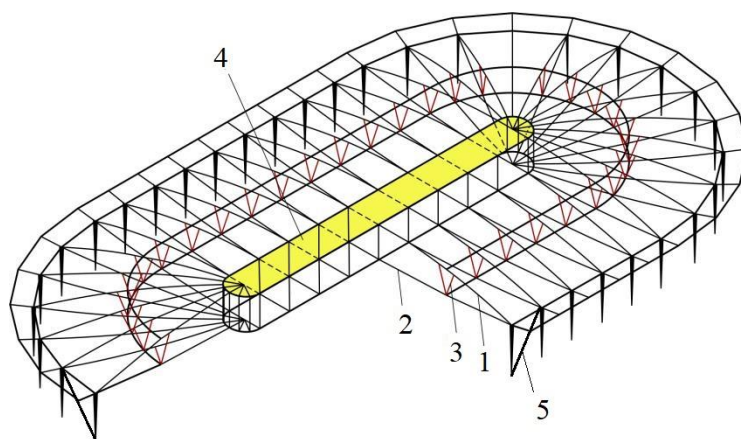
1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс;

Рисунок 9.5 – Опорный узел

9.3.7 Для овального в плане покрытия, включающего центральный прямоугольный участок с двумя полукругами по торцам, несущие конструкции следует выполнять из однотипных элементов, расположенных параллельно в центральной части покрытия и радиально на закругленных торцах сооружения (рисунок 9.6). Эти элементы состоят из сжато-изогнутого верхнего пояса – полуарки и растянутого провисающего нижнего пояса,

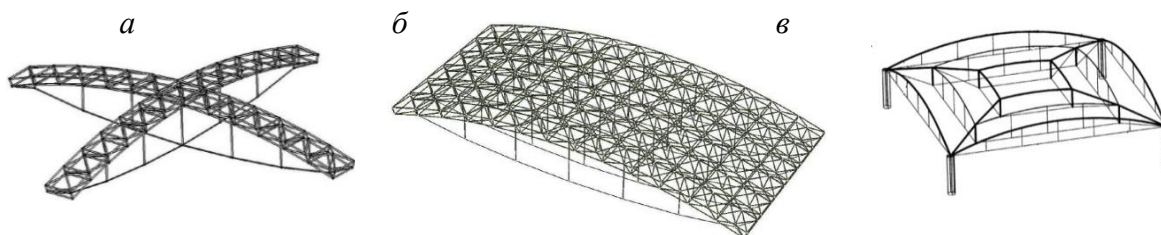
объединенных V-образной распоркой. В средней части покрытия следует располагать центральное ядро, в виде пространственной стержневой конструкции. Общую устойчивость сооружения следует обеспечивать четырьмя связевыми блоками, которые устанавливают между опорными колоннами по осям симметрии системы, кольцевыми распорками и жестким диском покрытия.

9.3.8 Варианты пространственных комбинированных шпренгельных систем на прямоугольном плане показаны на рисунке 9.7.



*1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – V-образные стойки; 4 – центральное ядро;
5 – связи*

Рисунок 9.6 – Пространственная комбинированная шпренгельная система



а – пространственная ортогональная система; б – система с плитным стержневым верхним поясом; в – система с диагональными элементами

Рисунок 9.7 – Варианты пространственных комбинированных шпренгельных систем

9.4 Подвесные и консольные системы

9.4.1 Подвесные комбинированные системы представляют собой жесткую пролетную конструкцию, подвешенную к внешним вантам, закрепленным на стойках или пилонах выше уровня крыши. Наиболее простые схемы представлены на рисунке 9.7, более сложные схемы – на рисунке 9.8.

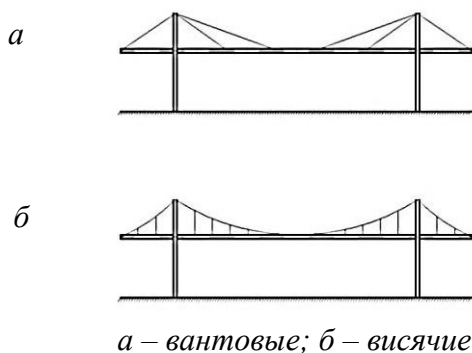


Рисунок 9.7 – Подвесные комбинированные системы

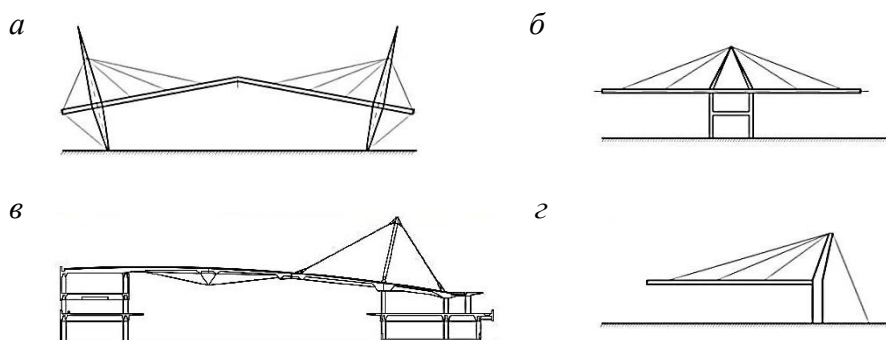


Рисунок 9.8 – Варианты конструктивных схем подвесных комбинированных систем

9.4.2 При проектировании следует учитывать, что в таких системах распор воспринимается балкой (фермой) жесткости, а подвески являются для них односторонними упругими опорами. В качестве жесткой конструкции может быть использована структурная плита.

9.4.3 В подвесных покрытиях с параллельным расположением несущих систем шаг конструкций следует принимать не менее 10 м. Для увеличения жесткости конструкций стрелу провиса вант (рисунок 9.7, *б*) следует принимать от $1/12$ до $1/8$ пролета, а угол наклона вант не менее 30° (рисунки 9.7, *а*, и 9.8) Строительную высоту жесткой конструкции, в зависимости от

расстояния между подвесками, следует назначать от 1/12 до 1/10 этого расстояния.

9.5 Конструкций покрытий над трибунами стадионов

9.5.1 Консольные системы

9.5.1.1 В консольных схемах с подвесками горизонтальные усилия от поддерживающих вант воспринимаются оттяжками, идущими от верха стойки (пилона). Усилие с оттяжек воспринимается собственной массой отдельно стоящего фундамента (рисунок 9.9 а, в) или замыкается на жестких конструкциях каркаса трибун с применением распорок, устанавливаемых в месте перелома оттяжки (рисунок 9.9 б, г).

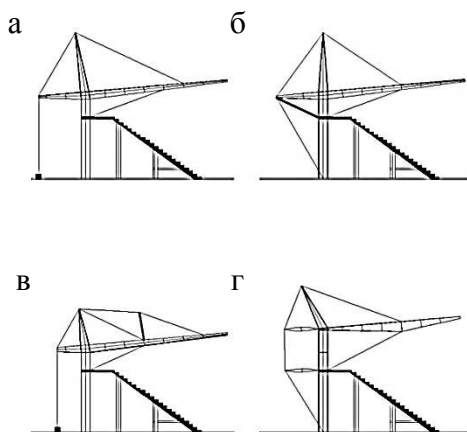


Рисунок 9.9 – Варианты комбинированных консольных схем

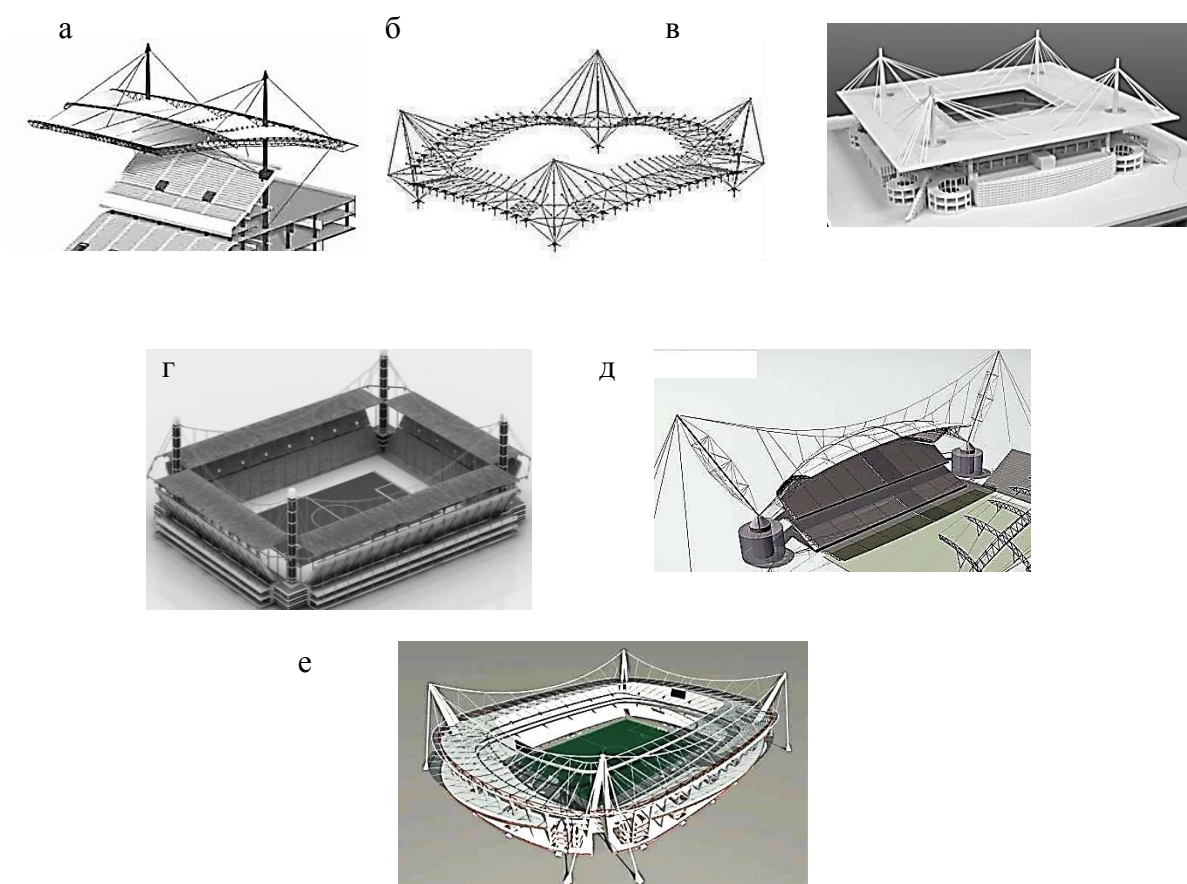
9.5.1.2 Отрицательные ветровые нагрузки на консоли с подвесками следует воспринимать их собственной массой, пригрузом свободного конца козырька или включением в работу дополнительных оттяжек, крепящихся к низу конструкции консоли (рисунок 9.9).

9.5.1.3 Стойки, подвески и оттяжки располагают в одной или двух плоскостях (V-образной формы), для пространственной устойчивости системы.

9.5.2 Подвесные системы

9.5.2.1 В подвесных конструкциях пространственное покрытие над трибунами, состоящее из системы балок, ферм, стержневых структур и т.п., подвешивается стальными канатами к пилонам, мачтам или аркам.

9.5.2.2 Покрытие подвешивается расходящимися веером тросами к пилонам, равномерно расположенным по периметру стадиона (рисунок 9.10, а) или с использованием только четырех угловых пилонов (рисунок 9.10 б, в, г, д, е). Пилоны, как правило, внизу снабжены шарнирными опорами, а верх раскрепляется оттяжками передающих усилия на каркас трибун или на гравитационные фундаменты.



а – вариант с пилонами по периметру стадиона; б, в, г, д – варианты с четырьмя пилонами

Рисунок 9.10– Системы с пилонами и подвесками

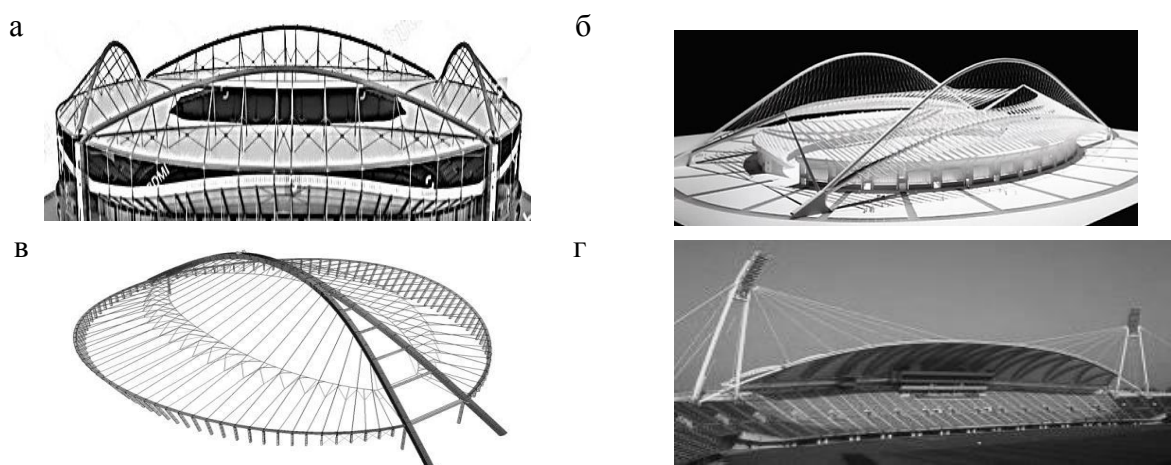
9.5.2.3 В арочно-вантовых системах покрытие следует подвешивать тросами к аркам. Применяются:

- расположенные вдоль сторон поля, четыре вертикальные арки, пяты которых сходятся в углах стадиона на уровне покрытия, служащие затяжкой

арок. Конструкцию покрытия следует подвешивать к аркам наклонными подвесками (гибкими или жесткими), обеспечивающими одновременно устойчивость арок (рисунок 9.11, а);

- решения с двумя вертикальными арками (рисунок 9.11 б, в).

- решения, включающие контурную арку, подвешенную наклонными веерными предварительно напряженными тросами к пилонам (мачтам), расположенным в углах козырька (рисунок 9.11, г). Арку следует выполнять из компактного профиля (например, из трубы или сварного двутавра).



а – вариант с четырьмя арками; б, в – вариант с двумя арками;
г – вариант с подвешенной контурной аркой

Рисунок 9.11 – Арочно-вантовые системы

Приложение А

Технические характеристики стальных канатов

Таблица А.1 – Закрытый канат с двумя слоями клиновидной и одним слоем Z-образной проволоки

Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетная масса 100 м смазанного каната, кг	Расчетное разрывное усилие, кН, не менее, для маркировочных групп, Н/мм ²				
			1270	1370	1470	1570	1670
50,0	1713,8	1469,51	2180	2345	2515	2685	2850
52,0	1846,2	1582,83	2350	2525	2705	2890	3070
54,0	1988,1	1704,37	2525	2720	2920	3116	3305
55,0	2016,3	1728,06	2565	2760	2955	3160	3355
60,0	2408,7	2063,60	3065	3300	3535	3770	4005
65,0	2764,0	2367,31	3515	3785	4060	4330	4600
70,0	3231,84	2767,12	4115	4425	4745	5065	5380

Таблица А.2 – Закрытый канат с двумя слоями Z-образной проволоки

Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетная масса 100 м смазанного каната, кг	Расчетное разрывное усилие, кН, не менее, для маркировочных групп, Н/мм ²				
			1180	1270	1370	1470	1570
38,5	1003,01	858,15	1175	1270	1370	1470	1565
40,5	1089,44	931,89	1275	1385	1490	1595	1705
42,5	1213,89	1038,40	1425	1540	1660	1780	1900
45,0	1336,46	1142,72	1565	1700	1830	1960	2090
47,0	1478,89	1264,56	1730	1880	2025	2170	2315
51,0	1711,89	1463,53	2005	2180	2345	2510	2680
54,0	1950,11	1667,91	2290	2480	2675	2865	3055

Таблица А.3 – Закрытый канат с Z-образной проволокой в наружном слое

Диаметр каната, мм	Масса 1000 м смазанного каната, кг	Маркировочная группа, Н/мм ²	
		1270	1370
		Расчетное разрывное усилие, кН	
32,0	6 057	–	1 981
42,0	10 862	1 667	–
52,0	16 848	2 527	–
54,0	17 900	–	2 771
62,0	23 850	3 548	–
66,0	26 170	4 023	–
72,0	32 088	4 729	–
78,0	35 950	5 543	–
90,0	47 540	7 384	–

Таблица А.4 – Закрытый канат с омегообразными проволоками

Диаметр каната, мм	Масса 1000 м смазанного каната, кг	Маркировочная группа, Н/мм ²		
		1180	1270	1370
		Расчетное разрывное усилие, кН		
38,5	8 399	1 164	1 253	1 352
45,0	11 683	1 620	1 743	1 881
60,0	20 693	2 814	3 028	3 267

Таблица А.5 – Сокращенные технические данные для спиральных канатов

Диаметр каната, мм	Минимальная разрывная прочность, кН	Расчетная несущая способ- ность, кН	Площадь (А) поперечного сечения, мм ²	Продольная жесткость (ЕА), МН	Масса, кг/пог.м
85	6680	4060	4150	643	34,8
90	7320	4440	4650	721	39,0
95	8160	4950	5190	804	43,5
100	9040	5480	5740	890	48,2
105	10200	6160	6340	983	53,1
110	11200	6760	6950	1080	58,3
115	12300	7440	7610	1180	63,7
120	13300	8060	8280	1280	69,4
125	14500	8780	8980	1390	75,3
130	15600	9470	9710	1510	81,4
135	16800	10200	10500	1630	87,8
140	18200	11000	11300	1750	94,4
145	19500	11800	12100	1880	102
150	20800	12600	13000	2020	108
155	22200	13500	13800	2140	113
160	23700	14300	14800	2300	121
165	25200	15300	15700	2440	128

**Таблица А.6 – Сокращенные технические данные для закрытых
спиральных канатов**

Диаметр каната, мм	Минимальная разрывная прочность, кН	Расчетная несущая способность, кН	Площадь (А) поперечного сечения, мм ²	Продольная жесткость (ЕА), МН	Масса, кг/пог.м
75	5620	3406	3890	642	33,8
80	6390	3873	4420	729	31,3
85	7220	4376	4990	823	40,1
90	8090	4903	5600	924	45,0
95	9120	5527	66310	1040	50,7
100	10100	6121	6990	1150	56,2
105	11100	6727	7710	1270	61,9
110	12200	7394	8460	1400	68,0
115	13300	8061	9240	1520	74,5
120	14500	8788	10100	1670	81,1
125	15700	9515	10900	1800	88,4
130	162000	9818	11900	1960	95,6
135	17500	10606	12900	2130	104
140	18700	11333	13900	2290	112
145	20100	12182	14900	2460	120
150	21500	13030	15900	2620	128
155	23000	13939	17000	2810	136
160	24500	14848	18100	2990	145
165	26100	15818	19200	3170	155
170	27600	16727	20400	3370	164
175	29300	17758	21600	3560	174
180	31000	18788	22900	3780	184

Приложение Б

Модули упругости стальных канатов

Таблица Б.1

Канаты	Кратность свивки	Модуль упругости E , МПа
Спиральные по ГОСТ 3064, закрытые несущие по ГОСТ 18899	6	$1,18 \times 10^5$
	8	$1,45 \times 10^5$
	10	$1,61 \times 10^5$
	11	$1,65 \times 10^5$
	12	$1,70 \times 10^5$
	14	$1,75 \times 10^5$
	16	$1,77 \times 10^5$
Пучки из параллельно уложенных проволок	—	$2,01 \times 10^5$

Таблица Б.2

Конструкция стальных канатов	Модуль упругости E , МПа
Спиральные однопрядные	$1,5 \times 10^5$
Спиральные закрытые	$1,6 \times 10^5$
Примечание – Приведенные в настоящей таблице значения модуля упругости соответствуют переменным усилиям в диапазоне 30 %–40 % разрывного усилия в канате.	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические данные анкерных устройств

В.1 Вилкообразные анкеры

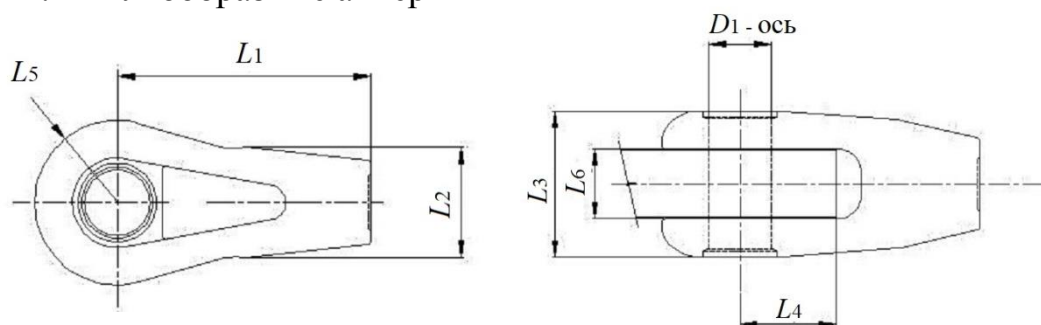


Таблица В.1 – Вилкообразные анкеры

Диаметр каната, мм	Размеры, мм							D_1
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6		
						max	min	
25	275	88	121	73	58	57	55	45
30	330	105	154	86	70	71	68	55
35	385	120	175	100	82,5	85	79	65
40	410	130	187	120	95	90	82	75
45	420	145	210	124	100	95	90	80
50	440	155	221	144	115	100	93	90
55	477	168	233	155	115	110	100	100
60	520	180	250	168	125	120	110	110
65	565	195	267	187	137	129	115	120
70	610	210	285	202	148	137	125	130
75	645	225	307	211	154	147	135	135
80	690	240	322	226	166	157	145	145
85	735	255	348	240	177	167	155	155
90	780	270	366	255	188	178	165	165
95	825	285	383	274	200	186	175	175
100	870	300	421	294	211	197	185	185
105	905	315	438	298	218	206	195	190
110	950	330	458	318	228	215	205	200
115	995	345	474	332	240	225	215	210
120	1035	365	482	347	255	235	225	220
125	1080	375	501	361	266	245	230	230
130	1140	385	524	396	273	257	240	235
135	1185	400	539	410	279	267	250	240
140	1230	415	557	430	290	277	260	250
145	1276	425	575	445	306	287	270	260
150	1321	440	587	465	315	297	280	270

В.2 Регулируемые вилкообразные анкеры

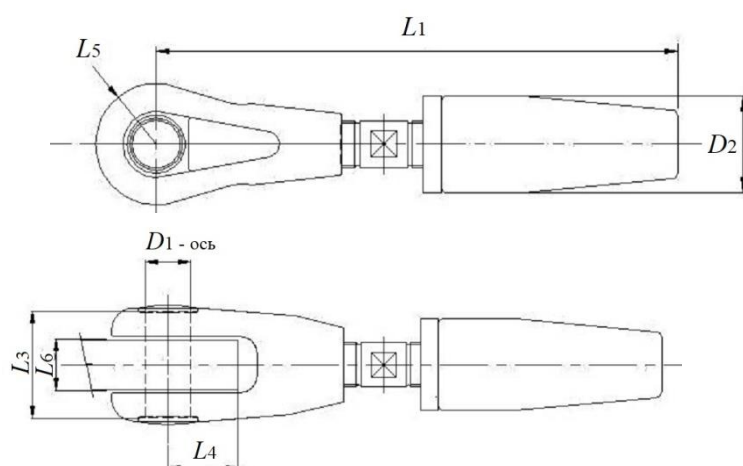


Таблица В.2 – Регулируемые вилкообразные анкеры, мм

Диаметр каната	L_1	Размер регуливовки	D_2
25	531 – 631	50	87
30	601 – 701	50	108
35	695 – 815	60	120
40	745 – 865	60	135
45	774 – 894	60	145
50	834 – 974	70	155
55	890 – 1030	70	170
60	948 – 1088	70	185
65	1021 – 1161	70	205
70	1087 – 1247	80	220
75	1156 – 1316	80	235
80	1236 – 1416	90	245
85	1300 – 1480	90	265
90	1390 – 1590	100	270
95	1444 – 1644	100	285
100	1544 – 1764	110	300
105	1613 – 1853	120	315
110	1723 – 1983	130	330
115	1797 – 2077	140	345
120	1872 – 2152	140	360
125	1946 – 2246	150	375
130	2021 – 2321	150	390
135	2097 – 2417	160	400
140	2165 – 2485	160	415
145	2260 – 2610	175	430
150	2320 – 2670	175	445

Примечание – Размеры L_3 , L_4 , L_5 , D_1 оси см. таблицу Д.1

В.3 Цилиндрический анкер

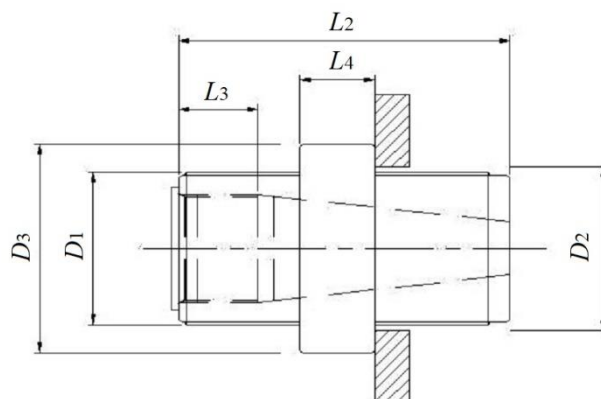


Таблица В.3 – Цилиндрический анкер, мм

Диаметр каната	L_2	L_3	L_4	D_1	D_2	D_3
25	250	55	40	100	110	140
30	290	60	45	106	115	155
35	330	65	50	125	135	175
40	345	75	60	132	142	190
45	350	80	66	150	160	210
50	360	90	72	160	170	225
55	390	95	78	180	190	250
60	420	100	84	190	200	265
65	450	105	88	212	222	290
70	480	110	96	224	234	310
75	515	115	106	236	246	325
80	545	120	112	250	260	345
85	575	125	120	265	275	365
90	610	135	130	280	229	385
95	640	140	130	300	310	410
100	675	150	140	315	325	430
105	710	155	144	335	345	455
110	740	160	156	355	365	480
115	770	165	168	355	365	490
120	800	170	168	375	385	520
125	835	180	176	400	415	550
130	860	180	176	400	415	560
135	890	185	176	425	440	585
140	920	190	192	425	440	595
145	950	195	192	450	465	620
150	980	200	192	450	465	630

В.4 Анкер-блок с траверсой

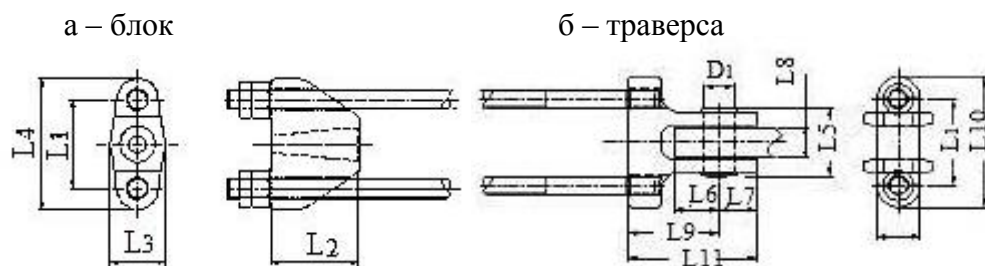


Таблица В.4 – Анкер-блок, мм

Диаметр каната	L_1	L_2	L_3	L_4
25	160	200	100	232
30	180	225	110	264
35	200	255	125	296
40	215	260	140	327
45	250	265	160	378
50	260	270	170	404
55	300	300	190	444
60	320	320	200	480
65	340	340	210	500
70	385	370	225	565
75	390	395	240	570
80	400	460	260	600
85	430	485	270	630
90	475	505	280	695
95	480	530	290	700
100	560	570	310	800
105	565	595	320	815
110	570	615	330	830
115	580	640	345	860
120	585	665	355	875
125	590	695	370	890
130	630	670	390	945
135	650	695	400	975
140	670	720	415	1010
145	695	750	430	1040
150	720	775	445	1080

Таблица В.5 – Траверса, мм

Диаметр каната	L_5	L_6	L_7	L_8		L_9	L_{10}	L_{11}	D_1 ось
				max	min				
25	121	73	66	56	55	145	232	211	45
30	154	86	74	71	68	170	264	244	55
35	175	100	87	85	79	210	296	297	65
45	187	120	98	90	82	225	327	323	75
50	210	124	106	95	90	250	378	356	80
55	221	144	120	100	93	280	404	400	90
60	233	155	132	110	100	310	444	442	100
65	250	168	141	120	110	335	480	476	110
70	267	187	155	129	115	365	500	520	120
75	285	202	167	137	125	390	565	557	130
80	307	211	175	147	135	410	570	585	135
85	322	226	188	157	145	440	600	628	145
90	348	240	203	167	155	470	630	673	155
95	366	255	216	178	165	500	695	716	165
100	383	274	232	186	175	525	700	757	175
105	421	294	245	197	185	565	800	810	185
110	438	298	252	206	195	580	815	832	190
115	458	318	262	215	205	605	830	867	200
120	474	332	277	225	215	635	860	912	210
125	482	347	289	235	225	660	875	949	220
130	501	361	303	245	230	680	890	983	230
135	524	396	273	257	240	676	945	949	235
140	539	410	279	267	250	715	975	994	240
145	557	430	290	277	260	740	1010	1030	250
150	575	445	306	287	270	775	1040	1081	260
160	587	465	315	297	280	800	1080	1115	270

Библиография

[1] СП 53-101-98 Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций

[2] СП 31-114-2004 Правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах

УДК 624.074

ОКС 91.080.10

Ключевые слова: висячие конструкции покрытий, правила проектирования, вантовые системы, тонколистовые системы, комбинированные системы, материалы, расчеты, узлы и детали

ИСПОЛНИТЕЛЬ

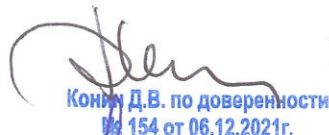
АО «НИЦ «Строительство»:

Заместитель генерального директора
по научной работе



А.И. Звездов

Директор ЦНИИСК им. В.А Кучеренко



Конин Д.В. по доверенности
№ 154 от 06.12.2021г.

И.И. Ведяков

Руководитель разработки:
Главный научный сотрудник
отдела металлических конструкций
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко



П.Г. Еремеев