

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ И СКЛАДЧАТЫЕ ОБОЛОЧКИ

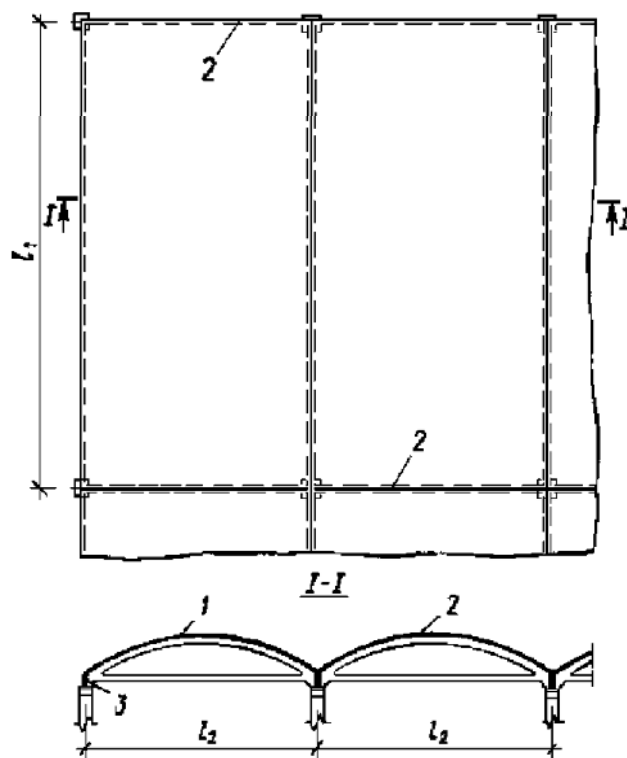
Основные положения

9.1. Цилиндрическими оболочками (рис. 9.1) называют тонкостенные конструкции, состоящие из следующих основных элементов:

- тонкой плиты, очерченной по цилиндрической поверхности (собственно оболочки);
- бортовых элементов, окаймляющих оболочку вдоль крайних образующих;
- поперечных диафрагм по криволинейным краям, опирающихся на колонны или стены.

Покрытие с тонкой плитой, очерченной по призматической поверхности, вписанной в цилиндрическую, называется складчатым (рис. 9.2). Оболочки и складки изготавливают гладкими и ребристыми.

9.2. Многоволновые оболочки следует проектировать монолитно связанными между собой и с общими бортовыми элементами - крайними и промежуточными (рис. 9.1, 9.2).



1 — плита оболочки; 2 — диафрагма; 3 — бортовой элемент

Рисунок 9.1. Цилиндрические оболочки

9.3. Цилиндрические и складчатые оболочки в зависимости от отношения расстояния между осями опорных диафрагм (пролет оболочки) l_1 к расстоянию между бортовыми элементами l_2 (длина волны) условно подразделяют на длинные — при $l_1 / l_2 > 1$; короткие — при $l_1 / l_2 < 1$.

При определении усилий и расчете оболочек по предельным состояниям следует учитывать рекомендации СП 63.13330 и п. 4.2 настоящего СП.

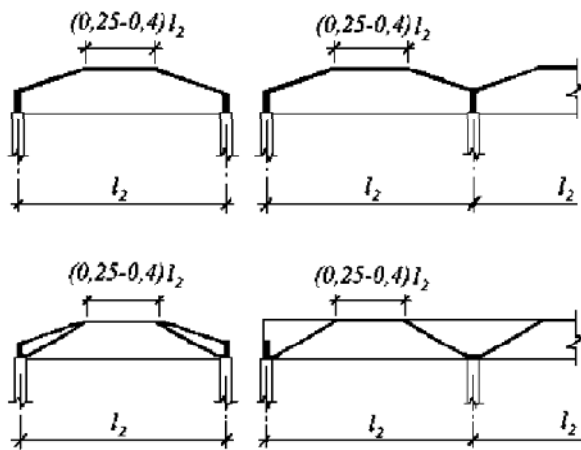


Рисунок 9.2. Типы складчатых оболочек

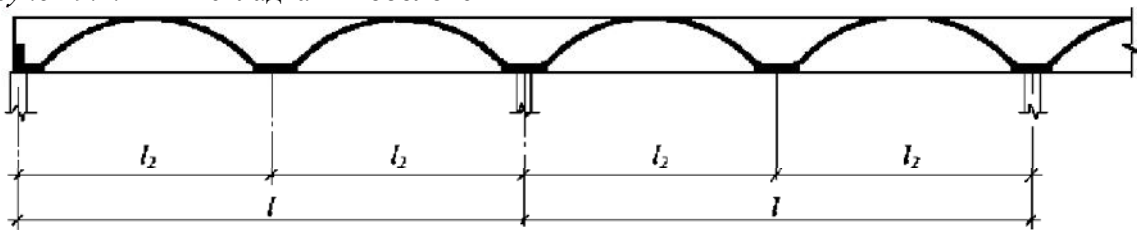
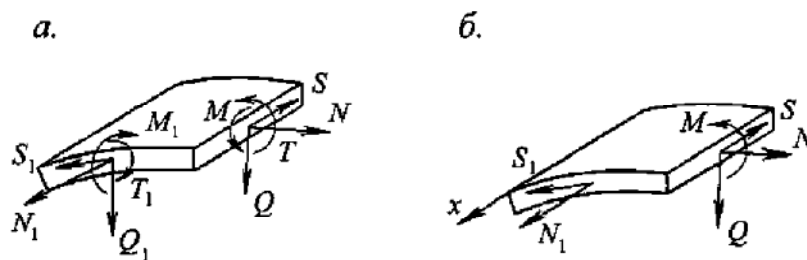


Рисунок 9.3. Схема оболочки с диафрагмами, не совпадающими с длиной волны.

Рекомендации по расчету длинных цилиндрических и складчатых оболочек

9.4 В общем случае определение усилий в длинных цилиндрических и складчатых оболочках рекомендуется производить с учетом деформации поперечного контура соответствии с полумоментной теорией. При этом изгибающие моменты M_1 , действующие на площадках поперечного сечения оболочки, соответствующие им поперечные силы Q_1 а также крутящие моменты T и T_1 вследствие их незначительной величины принимаю' равными нулю (рис. 9.4). Силы N , действующие нормально к площадкам продольной сечения, а также возникающие на тех же площадках поперечные силы Q учитывают расчете, но не учитывают при подборе сечений. Размеры сечений определяют ш нормальным усилиям N_1 , действующим на площадках поперечного сечения скалывающим усилиям S и изгибающим моментам M , действующим на площадка) продольного сечения оболочки или складки.

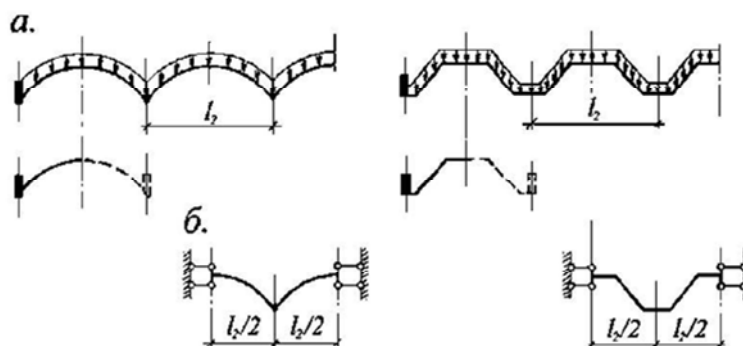


а - полная схема усилий; б — усилия, учитываемые при расчете.

Рисунок 9.4. Усилия, действующие в длинных цилиндрических и складчатых оболочках

9.5. В частных случаях (например, для оболочек, опертых по углам, при действии равномерно распределенной нагрузки и величине отношения $l \setminus / l_2 > 1$, при повышенной жесткости поперечных ребер и др.), когда взаимное влияние поперечных изгибающих моментов и продольных нормальных усилий отсутствует или незначительно, расчет оболочки производят как балки криволинейного поперечного сечения.

9.6. В многоволновых покрытиях, опертых по углам, крайние полуволны допускается рассчитывать по упрощенной схеме - как полуволны одноволновой оболочки или складки, имеющей симметричное сечение (рис. 9.5, а). Средние волны многоволновых оболочек и складок допускается рассчитывать как оболочки (складки), у которых продольные края закреплены от смещений в горизонтальной плоскости и поворота в плоскости поперечного сечения (рис. 9.5, б).



а — схема нагрузки и расчетная схема крайней волны; б — расчетная схема средней волны

Рисунок 9.5. Схемы для упрощенного расчета многоволновых оболочек и складок

9.7. Расчет по прочности, жесткости и трещиностойкости длинных цилиндрических и складчатых оболочек следует производить с учетом образования трещин в бортовых элементах и в плите, и трещин вдоль образующих в плите или трещин в поперечных ребрах (в том числе образовавшихся на стадии монтажа конструкции) в соответствии с методиками, изложенными в СП 63.13330. Допускается косые трещины в углах (рис. 9.6) при расчете не учитывать.

Расчет по образованию трещин в нормальных сечениях и вдоль образующих следует производить с учетом неупругих деформаций бетона в растянутой зоне.

Усилия для расчета длинных цилиндрических и складчатых оболочек по образованию и раскрытию трещин, по жесткости и прочности следует определять с учетом указаний п.9.4 с учетом деформаций поперечного контура как для упругой системы.

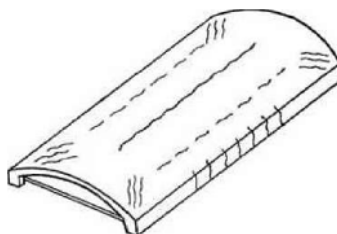


Рисунок 9.6. Схема трещин в длинной цилиндрической оболочке

9.8. Допускается расчет по прочности, жесткости и раскрытию трещин оболочки с трещинами в продольных сечениях производить на действие только изгибающих моментов по указаниям СП 63.13330.

Расчет оболочки по прочности следует производить с учетом перераспределения усилий между их продольными сечениями. Образование трех продольных пластических шарниров приводит к значительному увеличению деформаций и раскрытию трещин.

9.9. Расчет оболочки после назначения ее геометрических размеров выполняют в следующей последовательности:

- определяют требуемое сечение продольной арматуры бортовых элементов по формуле: ³

$$A_s = \frac{M}{R_s \cdot 0,8h_0}, \quad (9.1)$$

где M — изгибающий момент от внешних нагрузок в расчетном поперечном сечении оболочки; h_0 — рабочая высота сечения оболочки, равная полной высоте за вычетом

55

расстояния от нижней грани бортового элемента до равнодействующей усилий в растянутой арматуре;

- производят расчет оболочки в упругой постановке с учетом арматуры бортовых элементов;

- по полученным из расчета моментам с учетом рекомендаций п. 9.10 подбирают поперечную арматуру плиты;

- на основе расчета на предыдущем этапе по указаниям СП 63.13330 находят положение равнодействующей усилий в сжатой зоне сечения, расстояния от нее до центра тяжести растянутого бетона z_b и арматуры z_s и величину момента внешних сил M_{cr} , соответствующего появлению трещин;

- производят расчет оболочки с учетом трещин и по указаниям СП 63.13330 определяют перемещения оболочки и ширину раскрытия трещин в бортовых элементах;

- с учетом указаний п.п. 9.14 и 9.15 производят расчет угловых зон и диафрагм оболочек.

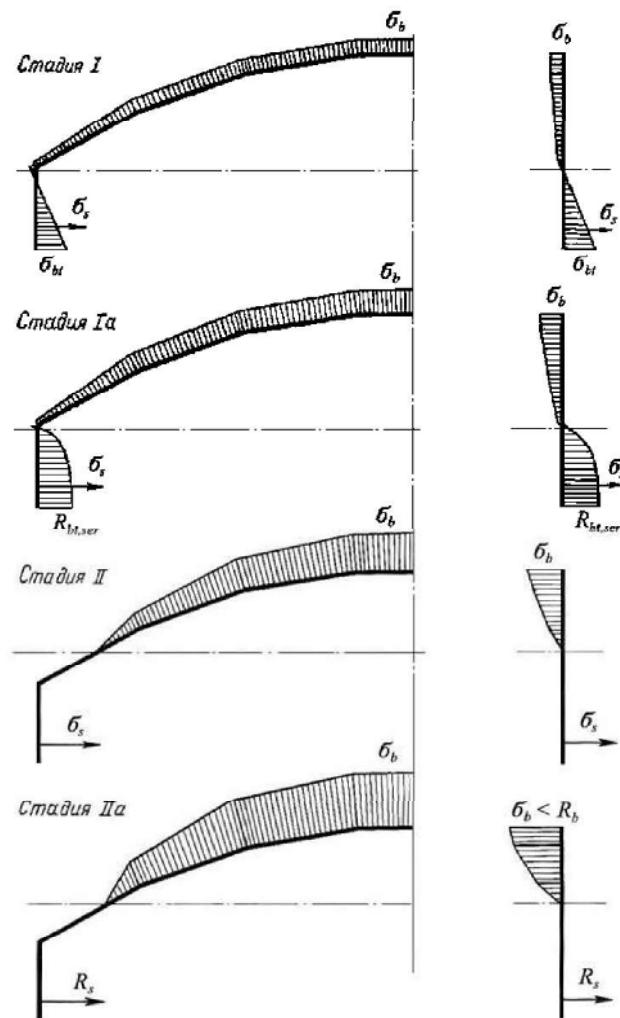


Рисунок 9.7. Стадии напряженного состояния поперечных сечений оболочки (складки)

9.10. Поперечную арматуру плиты и арматуру поперечных ребер на участках, примыкающих к бортовым элементам, определяют по указаниям СП 63.13330 по усилиям, определенным из расчета оболочек как упругих систем. Для расчета в поперечном направлении рассматривают полосу единичной ширины, вырезанной в любом сечении по длине оболочки, которую рассчитывают как круговую бесшарнирную арку пролетом, равным ширине оболочки.

9.11. Расчет жесткости конструкций оболочек следует производить с учетом деформаций контура и наличия поперечных трещин в бортовых элементах и в оболочке, продольных трещин в оболочке.

Ширину раскрытия нормальных трещин находят по СП 63.13330.**9.12.** В поперечном сечении оболочки значение предельного изгибающего момента M_{ult} определяют как произведение предельных усилий в основной растянутой арматуре бортовых элементов на расстояние до равнодействующей усилий в сжатой зоне сечения (рис. 9.7 стадия Па) по формуле

$$M_{ult} = R_s A_s z$$

(9.2)

Расчет оболочки по прочности следует производить с учетом перераспределения усилий между их поперечными сечениями.

9.13. Количество поперечной арматуры, принятой по результатам предварительного расчета, следует уточнять с учетом расчетных усилий, определенных при наличии трещин в поперечных и продольных сечениях оболочки.

9.14. Усилия в угловых зонах оболочек определяют из их расчета как упругих систем.

Во избежание хрупкого разрушения оболочек в углах от скалывания величина скалывающих напряжений не должна превышать $2,5R_{bt}$. На участках, где напряжения скалывания больше указанной величины, необходимо выполнять местное утолщение плиты. При этом производить перерасчет конструкции в целом не требуется.

9.15. Диафрагмы рассчитывают как плоские стержневые или балочные конструкции на действие нагрузки от собственного веса и опорного давления, передаваемого в виде сдвигающих сил S (рис. 9.9), касательных к срединной поверхности оболочки или складки, обратных по направлению и равных по величине сдвигающим усилиям в оболочке на контуре.



Рисунок 9.9. Схема передачи усилий с оболочки на диафрагму

Величину сдвигающих сил определяют из расчета оболочек и складок как упругих систем.

При расчете диафрагм следует учитывать эксцентричное приложение сдвигающих сил по отношению к оси элементов конструкции.

Конструирование длинных цилиндрических и складчатых оболочек

9.16. Высоту оболочки h , включая высоту сечения бортовой балки, рекомендуется назначать равной $(1/6—1/8) l_1$, а стрелу подъема f - равной $(1/6—1/8) l_2$.

Продольные края оболочки в пролете могут быть свободными или опираться на колонны или стены.

Поперечное сечение оболочек может быть очерчено по дуге круга, эллипса или по другой кривой. Рекомендуется принимать круговое очертание - как наиболее простое в производстве работ.

Схемы сечений оболочек приведены на рис. 9.1 — 9.3.

9.17. Сборные и сборно-монолитные цилиндрические оболочки выполняют ребристыми, монолитные - как правило, гладкими.

Ребристые монолитные оболочки (рис. 9.10) рекомендуется применять в тех случаях, когда вследствие наличия сосредоточенных нагрузок, особенностей очертания оболочки, условий ее опирания, больших пролетов или других причин для гладкой оболочки требуется большая толщина и устройство массивных бортовых элементов.

Ребра в монолитной оболочке предусматривают из условия обеспечения ее устойчивости.

9.18. При выборе типа бортовых элементов цилиндрических оболочек следует учитывать условия опирания краев оболочки.

Бортовые элементы для оболочек со свободно висящими краями рекомендуется принимать в виде балок, расположенных ниже края оболочки (рис. 9.11, а). Для сборных конструкций балки в целях снижения их веса могут быть двутаврового сечения.

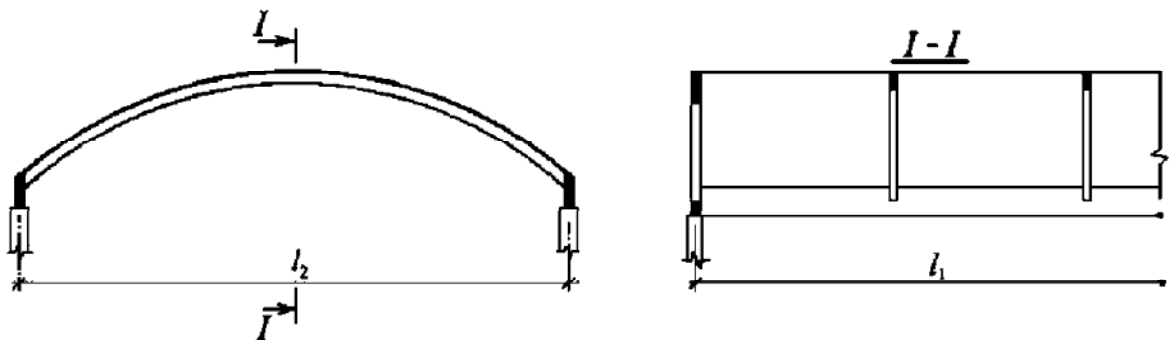


Рисунок 9.10. Ребристая оболочка

При необходимости бортовые элементы могут располагаться выше края оболочки (рис. 9.11, б). Они выполняются прямоугольного сечения (могут быть с приливами) или L-образного сечения (рис. 9.11, в). Если края оболочки подперты, то бортовой элемент целесообразно проектировать в виде горизонтальной плиты (рис. 9.11, г).

Размеры сечений бортовых элементов определяют по расчету и с учетом конструктивных требований. Рекомендуемые размеры сечений этих элементов в долях от полной высоты сечения оболочки приведены на рис. 9.11. Высоту сечения бортовых элементов в долях пролета l_1 рекомендуется принимать равной 1/20—1/30.

Промежуточные бортовые элементы, соединяющие отдельные волны многоволновых оболочек, проектируют аналогично крайним бортовым элементам по одному из типов, изображенных на рис. 9.11.

9.19. Средние и торцевые диафрагмы цилиндрических оболочек устраивают обычно в виде арок с затяжкой (рис. 9.12) - как наиболее экономичных по расходу материалов.

При небольшом пролете волны оболочки и небольшой стреле подъема f диафрагмы проектируют в виде балок переменной высоты. Для облегчения диафрагмы и пропуска коммуникаций в стенке балок устраивают отверстия.

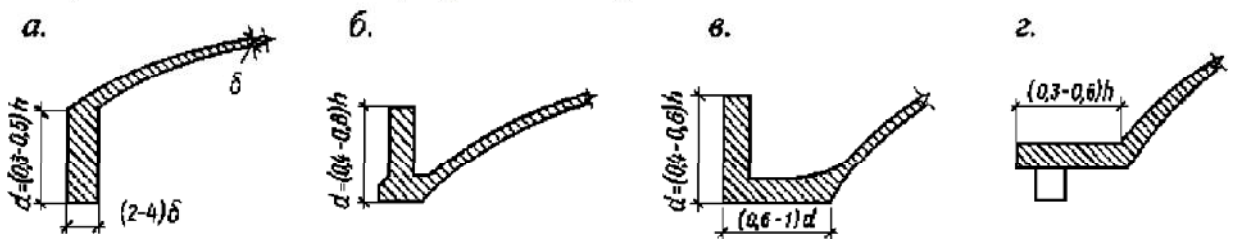


Рисунок 9.11. Бортовые элементы

Допускается проектировать диафрагмы других видов, в том числе в виде:

- криволинейного бруса (при опирании на стену);
- рам с криволинейным ригелем, если распор воспринимается каркасом пристройки;

- ферм (при значительных пролетах волны оболочки).

Диафрагмы, как правило, проектируют вертикальными, а при необходимости - наклонными и криволинейными.

9.20. Фонарные проемы и другие отверстия рекомендуется располагать в верхней части оболочки в продольном направлении. Размер отверстий в поперечном направлении рекомендуется назначать не более $(1/4—1/3) l_2$, в продольном направлении размеры отверстий не ограничиваются. Отверстия в оболочках окаймляют рамками и усиливают через 2—3 м распорками (рис. 9.13).

9.21. Поперечное сечение монолитных складчатых оболочек принимают по одному из типов, показанных на рис. 9.2. Ширину граней монолитной складки рекомендуется принимать не более 3 — 3,5 м - исходя из условия, чтобы толщина плиты была не более 100

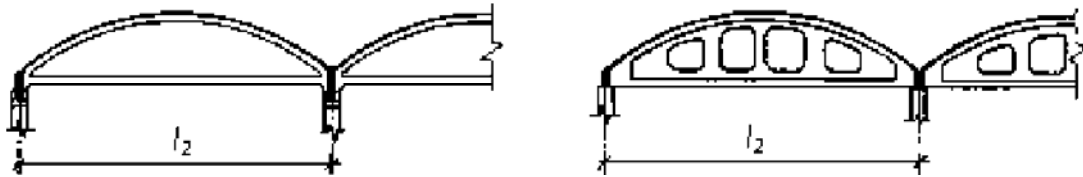


Рисунок 9.12. Диафрагмы цилиндрических оболочек

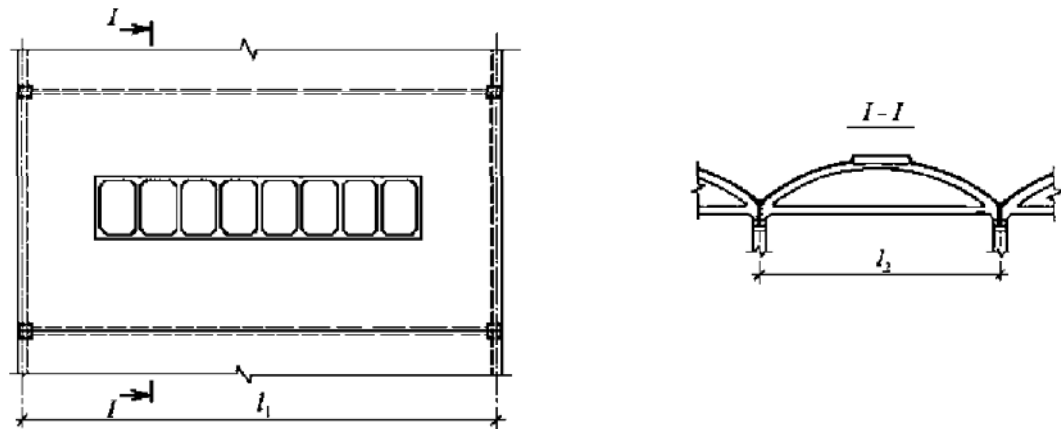


Рисунок 9.13. Схема оболочки с фонарным проемом

мм. Ширина верхней грани в складках назначается равной $(0,25—0,4) l_2$. Все грани по ширине принимают, как правило, одинаковыми.

9.22. Сборные складки рекомендуется изготавливать ребристыми. При $l_2 > 10—12$ м рекомендуется применять складки с количеством граней большим, чем указано на рис. 9.2, или усиливать грани складки поперечными ребрами. Высоту сборных складчатых оболочек без предварительного напряжения рекомендуется назначать не менее $1/10 l_1$. Бортовые элементы в них проектируются такими же, как и в цилиндрических оболочках (см. п. 9.18 и рис. 9.11).

Во избежание местной потери устойчивости оболочки между поперечными ребрами расстояние между ними не рекомендуется назначать большим, чем $7\sqrt{R}$, где R — радиус кривизны оболочки.

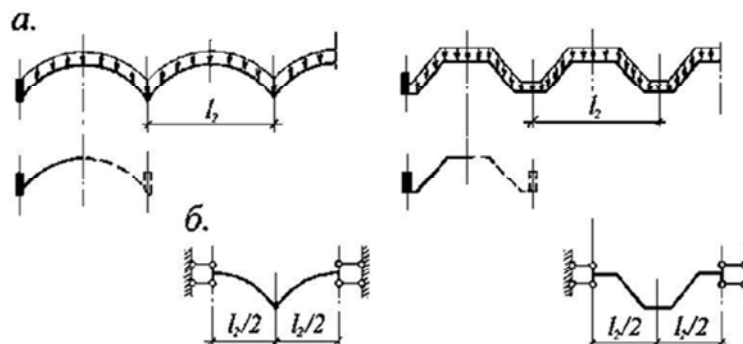
При наличии скалывающих напряжений на опорах более $0,8R_{bt}$ рекомендуется, не утолщая всей оболочки или складки, делать местные утолщения у опор, которые при определении усилий не учитываются.

9.23. Продольную рабочую арматуру рекомендуется располагать в основном в нижней части бортовых элементов, оставшуюся часть - по высоте сечения бортовых элементов или в их верхней зоне. При бортовых элементах, располагаемых выше края оболочки (рис. 9.11, б,

в), часть арматуры может размещаться в плите оболочки или складки. Кроме основной арматуры в бортовых элементах устанавливается поперечная и монтажная арматура.

9.24. В неразрезных многопролетных оболочках кроме основной растянутой арматуры в пролете следует устанавливать арматуру в верхней части оболочки для восприятия растягивающих напряжений над опорами (диафрагмами), располагая ее в средней половине растянутой части дуги.

Не менее 50% растянутой арматуры над опорой следует продлить на длину $1,2 b_0$ в



a — схема нагрузки и расчетная схема крайней волны; *б* — расчетная схема средней волны

каждую сторону от диафрагмы (b_0 — расстояние от опоры до сечения с нулевыми моментами).

9.25. В сжатой зоне оболочки, а также на участках, где главные растягивающие напряжения меньше R_{bt} , следует устанавливать конструктивную продольную арматуру с шагом 150—250 мм, площадью сечения не менее 0,2% сечения бетона.

Сечение арматуры, необходимое для обеспечения прочности оболочки при действии поперечных изгибающих моментов, следует определять как для плит. По длине волны арматура, воспринимающая поперечные моменты, устанавливается соответственно эпюре моментов в растянутой зоне. В местах примыкания плиты к бортовым элементам (а также к диафрагмам) следует устанавливать двойные сетки из арматуры диаметром 5—8 мм с шагом стержней не более 20 см.

В ребристых оболочках ребра, воспринимающие поперечные моменты, армируют, как правило, двойной арматурой с поперечными стержнями, а плита армируется конструктивно - одиночной сеткой.

9.26. На участках, где $\sigma_{prt} > R_{bt}$, требуемое сечение арматуры следует определять по растягивающим напряжениям, действующими под углом 45° к образующей. Величина этих напряжений определяется по формуле

$$\sigma_{45^\circ} = \frac{\sigma_x}{2} + \tau_{xy}, \quad (9.4)$$

где σ и τ_{xy} — соответственно нормальные и сдвигающие напряжения, действующие в рассматриваемой точке.

В местах, где арматурной сетки недостаточно для восприятия главных растягивающих усилий, следует устанавливать дополнительные арматурные стержни под углом 45° к образующей или усилить арматурную сетку дополнительными стержнями.

Сечение арматуры на единицу длины должно удовлетворять условию

$$\sigma_{45^\circ} \delta \cdot 100 = 0,5 (f_y + f_x) R_s + f_{inc} R_{s,inc}, \quad (9.5)$$

где f_y, f_x, f_{inc} — соответственно сечения продольной, поперечной и косой арматуры на единицу длины плиты;

$R_{s,inc}$ — расчетное сопротивление косої арматуры плиты.

Принятые сечения продольной и поперечной арматуры не должны различаться более чем на 20%.

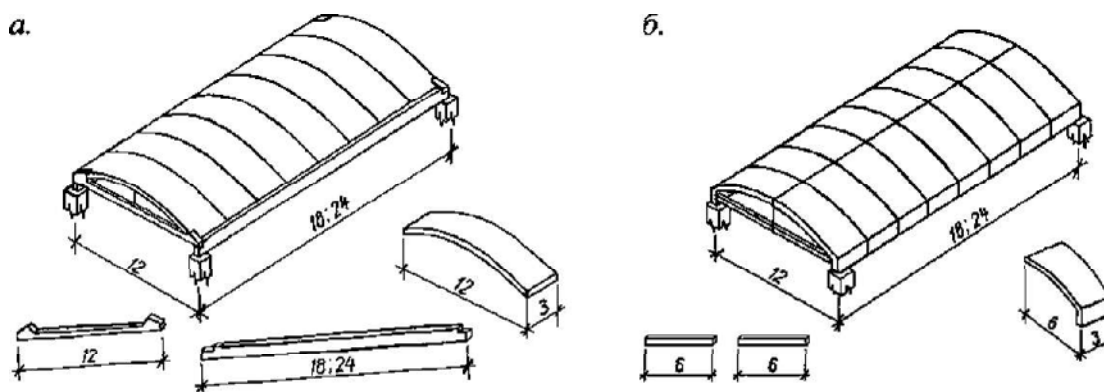
Стержни наклонной (установленной под углом 45° к образующей) и поперечной арматуры, воспринимающие главные растягивающие усилия, должны быть заанкерены в бортовом элементе. Выше нейтральной оси стержни наклонной и поперечной арматуры должны быть заведены не менее чем на 20 диаметров за сечение, где главные растягивающие напряжения могут быть восприняты основной сеткой.

9.27. Арматуру бортовых элементов оболочек и арматуру затяжек диафрагм рекомендуется выполнять предварительно напряженной.

9.28. Сборные цилиндрические оболочки собирают либо из бортовых балок длиной на пролет, криволинейных ребристых панелей длиной на пролет волны и затяжек диафрагм (рис. 9.14, а), либо из криволинейных ребристых панелей с примыкающими к ним частями бортовых балок длиной на половину пролета волны и затяжек диафрагм (рис. 9.14, б).

Складчатые оболочки собирают из бортовых балок длиной на пролет, арок-диафрагм длиной на пролет волны и плоских гладких или ребристых плит (рис. 9.15). Верхним поясом диафрагм в оболочках служит усиленное ребро крайних панелей. Панели принимают размерами 3х6 или 3х12 м.

При членении оболочки по схеме рис. 9.14, б перед установкой на леса сборные элементы объединяют попарно в направлении волны оболочки, сваривая закладные детали криволинейных ребер и устанавливая временные затяжки между бортовыми элементами.



а — из бортовых балок, криволинейных ребристых панелей и затяжек диафрагм;

б — из криволинейных ребристых панелей с бортовым элементом и затяжек диафрагм.

Рисунок 9.14. Схемы членения сборных длинных цилиндрических и складчатых оболочек

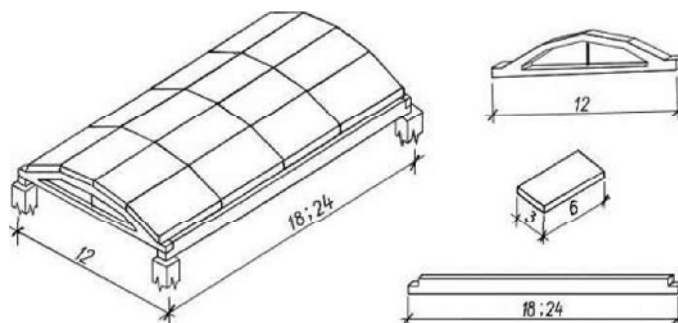


Рисунок 9.15. Складчатые оболочки из бортовых балок, арок-диафрагм и плоских ребристых или гладких плит

9.29. Элементы конструкций при членении по схемам рис. 9.14, а и 9.15 допускается проектировать из разных материалов: бортовые балки и диафрагмы — из бетонов высоких

марок с использованием предварительного напряжения; элементы оболочек - из легких или ячеистых бетонов, выполняя кроме несущих и ограждающих функций функцию теплоизоляции.

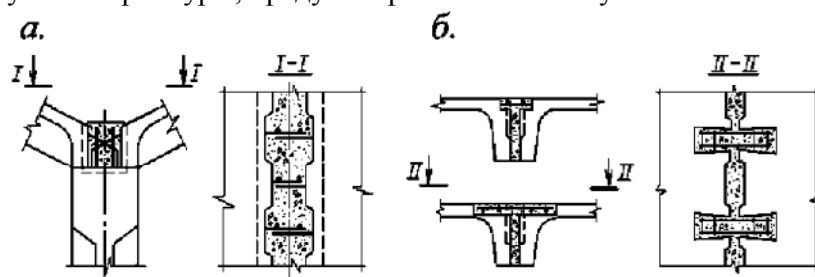
9.30. Конструкцию стыка между элементами в сборных оболочках и складках следует принимать согласно рекомендациям п. 6.4 настоящего СП в зависимости от характера и величины передающихся через стык усилий.

9.31. В средней части оболочек и складок, в нормальных сечениях которой действуют в основном сжимающие усилия, стыки допускается выполнять путем омоноличивания шпоночных швов бетоном.

9.32. Стыки бортовых элементов, в нормальных сечениях которых действуют значительные растягивающие усилия, рекомендуется выполнять предварительно напряженными, с использованием напрягаемой арматуры в качестве расчетного армирования. Арматуру размещают в специально оставленных в бортовых элементах каналах и закрепляют по торцам оболочки. Для обеспечения совместной работы предварительно напряженной арматуры с бетоном каналы заполняются цементным тестом под давлением.

9.33. Стыки в продольных сечениях оболочек, в которых помимо сдвигающих и незначительных нормальных сил действуют изгибающие моменты и перерезывающие силы, выполняют путем сварки выпусков арматуры ребер соединяемых элементов или путем сварки с помощью накладок закладных деталей элементов и последующим омоноличиванием бетоном.

9.34. Стыки собственно оболочки или складки с бортовыми балками и диафрагмами по схеме разрезки на рис. 9.14, а и 9.15, в которых действуют сдвигающие силы и изгибающие моменты (в отдельно стоящих конструкциях величина последних незначительна), выполняют путем устройства армированной шпонки, образованной после омоноличивания специальных углублений с выпусками арматуры, предусмотренными в стыкуемых элементах (рис. 9.16, а).



а — ребристых плит с бортовыми балками в отдельно стоящей складке между ребрами и в местах ребер; б — панелей в угловых зонах (со сваркой выпусков и со сварными каркасами, устанавливаемыми в углублениях сверху)

Рисунок 9.16. Стыки элементов сборных длинных цилиндрических оболочек и складок

9.35. Стыки смежных элементов, расположенных в угловых зонах оболочек, где действуют значительные по величине главные растягивающие усилия, выполняют путем сварки выпусков арматуры элементов, или путем сварки с помощью накладок закладных деталей элементов, или путем установки в заранее предусмотренные в элементах углубления сварных каркасов (рис. 9.16, б).

В оболочках типа, приведенного на рис. 9.14, б, стыки между панелями обжимаются при натяжении арматуры бортовых балок, поэтому арматуру смежных элементов допускается не стыковать.