

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Международная образовательная корпорация

Казахская Главная Архитектурно-Строительная Академия



Реферат

Проектирование и расчет железобетонных и каменных конструкций II

Тема: «Цилиндрические оболочки.»

Выполнил: РПЗС 20-9 Жанабергенов А.Т.

Проверила: Ажгалиева Б.А.

Алматы, 2023 г

Складчатые и цилиндрические железобетонные оболочки

Складчатые и длинные цилиндрические оболочки подобны друг другу по работе, по конструкции и по армированию (рис. 6.6). Длина их пролета l_1 намного больше длины волны l_2 , поэтому они работают на изгиб в направлении пролета как балки ломаного (или криволинейного) профиля; в поперечном направлении (в направлении волны) они работают либо как многопролетные неразрезные плиты (складки), либо как оболочки. В местах прикрепления цилиндрической оболочки к контурным элементам действуют небольшие краевые моменты. Испытания показали идентичность работы этих покрытий при действии распределенной нагрузки на оболочку: в середине пролета образуются трещины в растянутой зоне, в угловых зонах — наклонные трещины, как в балках.

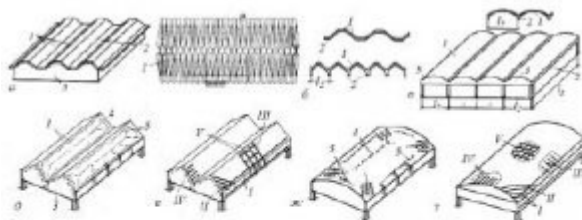


Рис. 6.6. Геометрические схемы, схемы трещинообразования и армирования складчатых и цилиндрических оболочек, показывающие идентичность их работы:
 а, б, д, е — призматические, встречные и треугольные складки;
 в, г, ж, з — длинные цилиндрические оболочки;
 1 — складка; 2 — бортовой элемент; 3 — торцевая диафрагма;
 4 — нижние трещины; 5 — верхние трещины;
 I — продольная рабочая арматура в растянутой зоне; II — наклонная (отогнутая) арматура в опорных зонах; III — рабочая арматура в поперечном направлении;
 IV — арматура для восприятия крутящего момента; V — конструктивная сетка

Отдельные плоские плиты складок работают как балочные плиты на двузначную эпюру изгибающих моментов, а цилиндрическая оболочка в направлении волны работает как однопролетная оболочка с образованием продольных трещин в середине пролета и у опор. Высоту цилиндрических оболочек h с учетом высоты бортового элемента принимают $(1/10 — 1/15)l_1$; стрелу подъема назначают $f = (1/6 — 1/8)l_2$.

Складчатые покрытия. В складчатых покрытиях обычно применяют треугольные или призматические (с горизонтальными участками) пространственные конструкции. Покрытия с применением призматических или треугольных складок состоят из соединенных между собой плоских плит, бортовых элементов и диафрагм (см. рис. 6.6, 6.7). Складки бывают одно- и многопролетными, одно-и многоволновыми. Складчатые покрытия в направлении волны l_2 работают на изгиб подобно плоским многопролетным балочным плитам (места перелома плит ввиду высокой жесткости в расчетной схеме принимают за опоры). Ширину плит (длину волны) принимают до 3...3,5 м. В трехгранных складках пролет $l_2 = 9...12$ м. Высоту оболочки h с учетом высоты бортового элемента назначают равной $(1/10...1/15)l_1$. Пролет складки l_1 обычно принимают более h , высоту складки назначают $(1/7...1/10)l_1$. Стрелу подъема f принимают равной $(1/6...1/8)l_2$. Размеры поперечного сечения принимают по расчету; для сборных элементов оболочек согласно толщина плит должна быть не менее 30 мм, высота ребер — до $1/20$ их длины, минимальная ширина сечения ребер — 40 мм.

Складчатые покрытия рекомендуется применять для однопролетных зданий с пролетами не более 30 м. Складчатые оболочки выполняют сборными, сборно-монолитными и монолитными, с обычной или предварительно-напряженной рабочей арматурой, располагаемой в ребрах и поясах. Плиты складок как лотки можно использовать для отвода атмосферной влаги. Складки шириной (длиной волны) менее 3 м опирают на подстропильные балки или стены, а складки шириной 3 м и более можно опирать на колонны. Рабочую растянутую арматуру складок проектируют прямолинейной предварительно-напряженной из высокопрочных арматурных стержней диаметром 20 мм и более, классов А500, А600 или арматурных канатов. Складки работают как балки корытообразного профиля в продольном направлении, и как неразрезные плиты в поперечном направлении (рис. 6.7). В поперечном направлении выделяют условную полосу шириной 1 м, и рассчитывают, как неразрезную балку. Плиты складок армируют по расчету одинарными сварными сетками, расположенными в срединной плоскости плит (если изгибающие моменты невелики), или двойными,

располагаемыми в соответствии с эпюрой изгибающих моментов.

В продольном направлении складку рассчитывают, как балку (разрезную или неразрезную) корытообразного профиля (см. рис. 6.7), при этом площадь рабочей арматуры в растянутой зоне находят с учетом eR , определяемой по формуле (6.1) или по табл. 4.3. Так, треугольные складки рассчитывают, как балки прямоугольного поперечного сечения.

$$\xi_e = \frac{0,8}{1 + R_s/700} \quad (6.1)$$

Расчет прочности балки прямоугольного сечения с одиночной арматурой (рис. 6.7) производится в зависимости от высоты сжатой зоны x

$$x = \frac{R_s A_s}{R_c b} \quad (6.2)$$

при $x < eR$ прочность определяют из условия

$$M \leq R_c A_s (h_0 - 0,5x) \quad (6.3)$$

Площадь сечения растянутой арматуры

$$A_s = \frac{R_s b h_0 (1 - \sqrt{1 - 2\alpha_n})}{R_s}$$

где x — высота сжатой зоны; при $x > eR$ условия

$$M \leq \alpha_n R_s R_c h_0^2 \quad (6.4)$$

где α_n — см. табл. 4.3; при этом несущую способность можно несколько увеличить путем замены значения α_n на $(0,7\alpha_n + 0,3am)$, где $am = e(1 - 0,5e)$, и принимая здесь e не более 1.

При расчете складчатых оболочек возможны два случая:

а) поперечное сечение складки после приложения нагрузки (в том числе и от действия собственного веса) или температурных и других воздействий не испытывает кручения (и, следовательно, не наблюдается депланация поперечного сечения) или поперечных симметричных или асимметричных деформаций. В этом случае в средних волнах многоволновой складки или отдельной складки, имеющей ребра и диафрагмы, дополнительных касательных и нормальных усилий в поперечных сечениях не возникает. Такая складка может быть рассчитана как простая балка в предположении линейного распределения продольных деформаций по высоте сечения. Стенки и полки, нагруженные поперечной нагрузкой, рассчитывают и конструируют с учетом их изгиба. Стыки соседних плит между собой и соединения плит с диафрагмами проектируют так, чтобы конструктивно обеспечить их совместную работу;

б) складчатая конструкция, нагруженная полосовой или сосредоточенной нагрузкой, работает как тонкостенная пространственная складчатая система, поперечные сечения которой изменяют свою форму; это может быть, например, в зоне опирания крайних складок на торцевую стену. Такую конструкцию рекомендуется рассчитывать методом конечных элементов. Поперечное армирование плит и стыков между ними в этом случае определяют из расчета складок как пространственной системы.

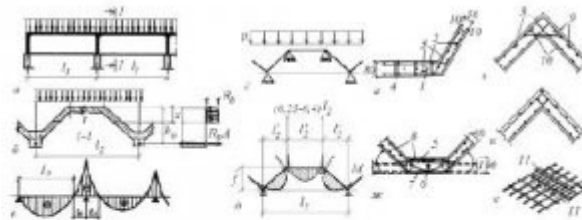


Рис. 6.7. Расчетные схемы складок и армирование:
 а-в – расчетные схемы складки в продольном направлении;
 г, д – то же, в поперечном направлении; е, з, и – узла армирования;
 ж – армирование узла складок, изготавливаемых погибом до его замоноличивания;
 к – положение сеток при сварке:
 1 – предварительно-напряженная арматура; 2 – поперечные стержни;
 3 – верхние стержни с заделкой; 4 – сетка; 5 – бетон замоноличивания;
 6 – предварительно-напряженная арматура, натягиваемая на упоры формы;
 7 – изгибаемые дополнительные сетки; 8 – отгибаемые и свариваемые стержни;
 9 – армирование пазов; 10 – нижние стержни; 11 – места точечной сварки

Для подбора продольной арматуры и вычисления прогибов балочных складок (случай «а»), а также для предварительного расчета призматических складок (случай «б»), допускается приводить сечения складок к тавровому или двутавровому сечению с последующим расчетом их по предельным состояниям. При расчете прочности складки на поперечную силу по наклонному сечению следует учитывать фактическую толщину наклонных стенок с поправкой на угол наклона.

Длинные цилиндрические оболочки. Цилиндрические оболочки — это тонкостенные покрытия, состоящие из собственно оболочки (очерченной по цилиндрической поверхности), бортовых элементов, окаймляющих оболочку вдоль крайних направляющих; поперечных диафрагм по криволинейным краям, опирающихся на колонны или стены; и иногда — ребер. Плита может быть образована призматической поверхностью, вписанной в цилиндрическую. Оболочки могут быть гладкими и ребристыми. Расстояние между осями опорных диафрагм l_1 — это пролет оболочки, а расстояние между бортовыми элементами l_2 — длина волны. В высоту оболочки h входит высота бортовых элементов; в размер стрелы подъема оболочки f не включают бортовые элементы. Направление по направляющей вдоль пролета l_1 называется продольным, а по образующей вдоль пролета l_2 — поперечным. Оболочки могут быть однопролетными, многопролетными и консольными. Многоволновые оболочки связаны между собой и имеют общие бортовые элементы; эти элементы могут быть крайние и промежуточные. Расстояние между осями колонн, поддерживающих диафрагму, может не совпадать с длиной волны оболочки. Цилиндрические оболочки в зависимости от отношения пролета к длине волны условно подразделяются на длинные — при $l_1/l_2 > 1$ и короткие — при $l_1/l_2 < 1$.

Продольные края оболочки в пролете могут оставаться свободными или опираться на промежуточные колонны или стены. Поперечное сечение оболочек может быть дугой круга, эллипса и др.; рекомендуется принимать круговое очертание как наиболее простое в производстве работ. Сборные и сборно-монолитные цилиндрические оболочки часто выполняют ребристыми. Монолитные оболочки лучше делать гладкими, так как устройство ребер усложняет опалубку и бетонирование. Ребристые монолитные оболочки применяют только тогда, когда вследствие сосредоточенных нагрузок, особенностей очертания оболочки, условий ее опирания, больших пролетов и др. поперечные изгибающие моменты настолько велики, что требуют слишком большой толщины гладкой оболочки и устройства массивных бортовых элементов. Ребра в монолитной оболочке могут быть нужны для обеспечения ее устойчивости при малой толщине. Бортовые элементы, в которых размещается основная растянутая арматура, существенно снижают растягивающие напряжения, уменьшают вертикальные и горизонтальные перемещения краев оболочки. Выбор типа бортовых элементов зависит от условий опирания краев оболочки. Бортовые элементы для оболочек со свободно висящими краями принимают в виде балок, расположенных ниже края оболочки. Сборные балки в целях снижения веса могут иметь двутавровое сечение. Размеры сечений бортовых элементов определяются расчетными и конструктивными требованиями. Высоту сечения бортовых элементов принимают $(1/20...1/50) l_1$. Средние и торцевые диафрагмы

обычно выполняют в виде арок с затяжкой, что экономичнее по расходу материалов. При небольшой длине волны и стреле подъема, диафрагмы выполняют в виде балок переменной высоты.

Для расчета оболочек предварительно задают размеры сечений их элементов с учетом рекомендаций. Для монолитных оболочек толщина плиты может назначаться равной $(1/200 \dots 1/300) l_2$, но не менее 5 см. Толщина плит сборных и сборно-монолитных оболочек и складок принимается не менее 3 см. Во избежание местной потери устойчивости оболочки между поперечными ребрами расстояние между ними не рекомендуется назначать большим, чем $7VR_yt$, где R_y — радиус кривизны оболочки. При наличии больших скалывающих напряжений на опорах рекомендуется, не повышая толщину оболочки, сделать местные утолщения у опор, которые при расчете не учитывают. Размеры сечений бортовых элементов оболочек и складок назначают в соответствии с рекомендациями или на основе запроектированных ранее близких по очертанию и размерам конструкций, а также исходя из приближенного расчета как обычной железобетонной или предварительно напряженной шарнирно опертой балки.

Чтобы обеспечить наибольшее значение плеча внутренней пары сил, продольную рабочую арматуру (70%) располагают в основном в нижней части бортовых элементов; часть арматуры располагают по высоте бортовых элементов и в их верхней зоне. Кроме основной арматуры, в бортовых элементах устанавливают поперечную и монтажную арматуру. По длине пролета, как в однопролетных, так и в многопролетных оболочках, не менее 30% сечения растянутой арматуры доводится до опор. Сечение арматуры по длине пролета целесообразно уменьшать не обрывом стержней, а приваркой стержней меньшего диаметра к стержням большего диаметра. Места уменьшения сечения арматуры назначаются в соответствии с эпюрой изменения напряжений вдоль пролета, при этом стержни большего диаметра должны быть заведены на длину не менее $20 d$ за сечение, где теоретически возможно уменьшение диаметра. В неразрезных многопролетных оболочках, кроме основной растянутой арматуры, в пролете ставится арматура в верхней части оболочки для восприятия растягивающих напряжений над опорами (диафрагмами). По поперечному сечению оболочки растянутую арматуру над опорами рекомендуется располагать в средней половине растянутой части дуги. Не менее 50% растянутой арматуры над опорой должно быть продлено на длину $1,2b_0$ в каждую сторону от диафрагмы, а оставшаяся часть арматуры — не менее чем на $0,6b_0$ (b_0 — расстояние от опоры до сечения с нулевыми моментами).

Продольная арматура в сжатой зоне оболочки, а также на участках, где главные растягивающие напряжения меньше R_{bt} , устанавливается конструктивно через 15...25 см, площадью не менее 0,2% сечения бетона. Вместе с поперечной арматурой, рассчитываемой на восприятие поперечных изгибающих моментов, она образует сетку. Сечение арматуры, необходимое для работы на поперечные моменты, определяется как для плит. По длине волны арматура сетки, воспринимающая поперечные моменты, устанавливается в соответствии с эпюрой моментов, ближе к растянутой зоне. В местах примыкания плиты к бортовым элементам и к диафрагмам устанавливают двойные сетки из арматуры диаметром 5...8 мм, с шагом не более 20 см. В ребристых оболочках поперечные моменты воспринимаются арматурой ребер. Ребра армируют двойной продольной арматурой, соединенной поперечными стержнями. Плиту армируют конструктивно одиночной сеткой. На участках, где $o > R_{bt}$, сечение арматуры определяют исходя из растягивающих напряжений, действующих под углом 45° .

Полная высота покрытия с обычной арматурой h_1 , с учетом высоты бортового элемента h_2 , рекомендуется в пределах $(1/10 \dots 1/15) l_1$; в предварительно напряженных оболочках она может быть меньше. Высота оболочек должна быть $h_1 > l_2/6$; толщина плиты монолитных оболочек $t = (1/200 \dots 1/300) h$, но не менее 50 мм; толщину плиты сборных ребристых оболочек принимают не менее 30 мм. Расстояние между поперечными ребрами рекомендуется ограничивать во избежание потери местной устойчивости, как для складок (см. выше).

Длинная цилиндрическая оболочка под действием нагрузки от собственного веса и снега деформируется подобно балке пролетом l_2 с криволинейным поперечным сечением высотой h , включающим бортовые элементы (рис. 6.8, а), шириной, равной длине волны l_1 ; в нижних частях поперечного сечения оболочки возникает растяжение, в верхней части — сжатие. Бортовые элементы предназначены для повышения прочностных и жесткостных характеристик поперечного сечения покрытия. В них размещается основная растянутая арматура конструкции. Они также укрепляют прямолинейные края цилиндрических оболочек, что необходимо при действии местных нагрузок. Форма и размеры бортовых элементов определяются конструктивным решением покрытия и его расчетом.

Если покрытие опирается по углам, на него действует равномерно распределенная нагрузка, отношение размеров в плане $l_1/l_2 > 3$, (для промежуточных волн $l_1/l_2 > 2$), покрытия можно приближенно рассчитывать на прочность, жесткость и трещиностойкость как балки корытообразного профиля (см. рис. 6.8). Односторонняя равномерно распределенная снеговая нагрузка, не превышающая полной симметричной нагрузки, может быть заменена в расчете симметричной нагрузкой той же интенсивности. В остальных случаях длинные оболочки рассчитывают, как пространственно деформируемые системы (используя компьютерные программы на основе МКЭ). Многопролетную оболочку под действием равномерно распределенной нагрузки (см. рис. 6.8), можно рассчитать, как однопролетную шарнирно опертую оболочку пролетом l_0 , равным расстоянию от крайней диафрагмы до нулевой точки на эпюре моментов многопролетной балки, и затем принять изменение вдоль оболочки внутренних сил и моментов согласно изменению ординат в эпюре моментов многопролетной балки, с учетом изменения знака моментов над промежуточными опорами.

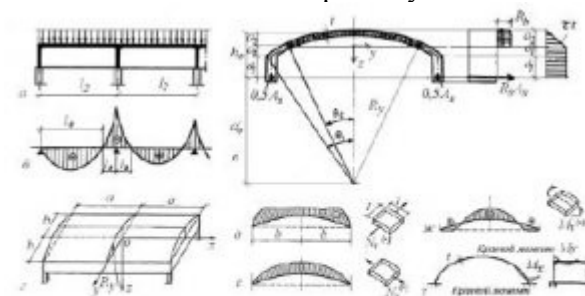


Рис. 6.8. Расчетные схемы длинных оболочек:
а — продольный разрез; б — эпюра M в продольном направлении;
в — расчетное поперечное сечение оболочки; г — геометрическая схема оболочки;
д-ж — эпюры N_x , N_y , M_x для сечения $x = 0$; з — эпюры крайних моментов
в местах крепления оболочки к бортовому элементу и к диафрагме

Площадь сечения продольной растянутой арматуры типа 1 определяют (при расчете как пространственной системы) по формуле

$$A_s = \frac{Z_{\max}}{R_s}, \quad (6.5)$$

где Z_{\max} — равнодействующая растягивающих сил согласно эпюре N_x .

В покрытиях с вертикальными бортовыми элементами, расположенными ниже оболочки, до 80% продольной рабочей арматуры размещают в бортовом элементе, из них 60% концентрируют в его нижней части (для увеличения плеча внутренней пары сил и экономии арматуры). В растянутой зоне оболочки, где растягивающие напряжения меньше R_{bt} , содержание продольной арматуры должно быть не менее 0,2% площади сечения бетона. Вдоль оболочки площадь сечения продольной арматуры типа I можно уменьшить в соответствии с изменением сил N_x , однако до опоры доводится не менее 30%. Сокращение площади продольной арматуры достигается не обрывом стержней, а уменьшением диаметра и сваркой стержней в стыках.

По результатам статического расчета подбирают арматуру (рис. 6.9).

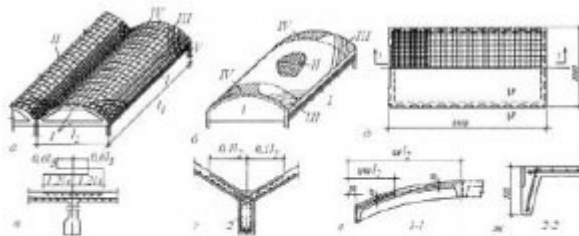


Рис. 6.9. Армирование длинных оболочек:
 а, б – основные схемы; в, г – армирование узлов; д–ж – армирование сборной панели;
 I–V – типы арматуры: 1 – рабочая арматура в бортовом элементе;
 II – сетка; III – армирование угловых зон;
 IV – для восприятия краевого момента; V – дополнительная сетка;
 1 – торцевые диафрагмы; 2 – бортовой элемент

Сжатую зону оболочки в продольном направлении армируют конструктивно стержнями $d = 5 \dots 6$ мм с шагом $200 \dots 250$ мм, общим сечением не менее $0,2\%$ площади сечения бетона. По наибольшим значениям ординат эпюры M (см. рис. 6.9, в) определяют сечения арматуры как для плиты и укладывают ее стержни в направлении волны в соответствии со знаком эпюры. В монолитных оболочках стержни обоих видов объединяют в сетку типа II, которую размещают по всей оболочке (см. рис. 6.9). Вблизи диафрагм касательные силы N имеют максимальное значение. Они вызывают главные растягивающие силы, направленные под углом 45° к прямолинейной образующей. Там, где главные растягивающие напряжения больше R_{bt} , они передаются на одну арматуру, причем, если недостаточно сетки типа II, ставят дополнительную арматуру типа III (наклонные стержни или ортогональные сетки), заводимую для анкеровки в бортовые элементы и диафрагмы. В местах примыкания оболочки к диафрагмам устанавливают арматуру типа IV, рассчитываемую согласно эпюре M_x (см. рис. 6.9). В многоволновых оболочках около промежуточных бортовых элементов ставят дополнительные поперечные стержни $d = 6 \dots 10$ мм с шагом $100 \dots 200$ мм (см. рис. 6.9), воспринимающие опорные моменты M .

С оболочки на диафрагмы передаются касательные силы, действующие в ее срединной поверхности (см. рис. 6.9). Статический расчет диафрагм состоит в определении внутренних моментов M и сил N и Q от действия нагрузки N_x с учетом конструктивных особенностей диафрагмы и ее собственного веса. Арочные диафрагмы с затяжками (см. рис. 6.9, б) по конструкции подобны обычным аркам. Под действием касательных сил M средняя часть арки испытывает внецентренное растяжение; приопорные части — внецентренное сжатие; затяжки — растяжение.

Длинные сборные цилиндрические оболочки применяют в двух вариантах разрезки на сборные элементы: без отделения оболочки от бортовых элементов, и с отделением. В первом варианте все сборные элементы объединяют в единую систему с помощью предварительно напрягаемой арматуры, пропускаемой в продольных каналах. Но в этом варианте сборные элементы имеют сложную форму, и необходима высокая точность при устройстве каналов для арматуры. Во втором варианте форма сборных элементов проще, монтаж ведут без лесов (панели укладывают на бортовые элементы, подкрепленные на период монтажа стойками). Но швы между панелями и бортовыми элементами шпоночной формы для передачи касательных сил сложны; качественное их заполнение бетоном и контроль затруднительны.

Короткие оболочки. Цилиндрические оболочки относят к коротким при отношении их размеров в плане $l_1/l_2 < 1$ (рис. 6.10). Пролет l_1 принимают до 12 м, длину волны l_2 — до 30 м, стрелу подъема $f > l_2/7$. Толщину оболочки t принимают без расчета по условиям изготовления равной $50 \dots 60$ мм при $l_1 = 6$ м и $70 \dots 80$ мм при $l_1 = 9 \dots 12$ м. Для оболочек используют классы бетона В20...В30. Бортовой элемент назначают высотой $h_2 = (1/10 \dots 1/15) l_1$ и шириной $d = (0,2 \dots 0,4) h_2$. Плиту армируют конструктивно сеткой из стержней $d = 5 \dots 6$ мм с шагом $100 \dots 200$ мм.

Рассчитывают короткие оболочки упрощенным способом: в направлении l_1 оболочку

рассчитывают, как балку. В однопролетной одноволновой оболочке в середине пролета изгибающий момент

$$M = 0,125(ql_2^2) \quad (6.6)$$

Расчетное сечение продольной растянутой арматуры:

$$A_s = \frac{M}{R_y z} = \frac{(ql_2^2) l_1^2}{4,5 R_y (f+h_2)} \quad (6.7)$$

где z — плечо внутренней пары сил; как следует из вычислений и испытаний $z = 0,55(f+h_2)$.

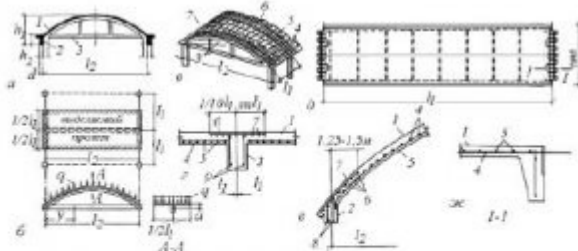


Рис. 6.10. Расчетная схема диафрагмы короткой оболочки (а, б); конструктивная схема и узлы монолитной короткой цилиндрической оболочки (в-ж):
1 — плита оболочки; 2 — бортовой элемент; 3 — диафрагма;
4, 5 — продольная и поперечная арматура плиты;
6, 7 — продольная и поперечная дополнительная арматура;
8, 9 — продольная арматура бортового элемента и диафрагмы

Продольную арматуру укладывают в бортовые элементы; если однопролетная оболочка — многоволновая, то в промежуточных бортовых элементах сечение арматуры принимают равным A_s , в крайних — $A_s/2$. В средних пролетах многопролетных оболочек площадь сечения арматуры принимают вдвое меньшей. Продольные стержни арматуры бортовых элементов объединяют в сварные каркасы, причем поперечную арматуру в них ставят конструктивно. Вблизи бортовых элементов оболочку армируют дополнительными сетками (см. рис. 6.10). Над диафрагмами также ставят дополнительную арматуру, которую заводят на длину $0,1l_1$ в каждую сторону от диафрагмы (см. рис. 6.10). Дополнительную арматуру в обоих случаях принимают такой же, как и основную сетку. В направлении l_2 диафрагму рассчитывают во взаимодействии с плитой оболочки (см. рис. 6.10). В статически определимой конструкции диафрагмы как криволинейного бруса с разрезной затяжкой под действием нагрузки плита оболочки сжата, и наибольшее сжатие в вершине оболочки $N_{y,max} = -qRyl_1$, (где R_y — радиус кривизны оболочки). Вдоль волны эта сжимающая сила изменяется по закону квадратной параболы

$$N_y = -\frac{4qR_y l_1 y (l_2 - y)}{l_2^2} \quad (6.8)$$

Значит, в диафрагме действует сила того же значения, но обратного направления. В арочных диафрагмах внутренние моменты и силы определяют по формулам:

$$M_y = M_y^0 - N_y a; \quad Q = Q_y^0; \quad N_x = N_x^0 + N_y, \quad (6.9)$$

где M_{y0} , Q_{y0} и N_{y0} — момент и силы, вычисленные при полной вертикальной нагрузке, относительно оси верхнего пояса диафрагмы, как в статически определимой конструкции; a — расстояние от оси верхнего пояса диафрагмы до срединной поверхности оболочки (см. сеч. А-А).

Короткая цилиндрическая оболочка (типа арки), опертая на стены и потому работающая только в направлении волны, испытывает преимущественно сжатие, а вблизи опор действует краевой изгибающий момент. Сжимающее усилие в бетоне определяют по простой формуле $N = ql_2/8f$. По этому усилию находят толщину оболочки. Армирование для восприятия краевого момента определяют аналогично приведенным выше формулам для пологой оболочки. Сборные покрытия с применением коротких цилиндрических оболочек образуют из диафрагм, кровельных ребристых плит П-образного поперечного сечения и бортовых элементов. Швы между сборными плитами должны быть заполнены бетоном и перекрыты

анкерными связями. Швы между плитами и диафрагмами конструируют шпоночной формы. К достоинствам сборной конструкции относится простота изготовления элементов и монтажа покрытия, а также высокая жесткость покрытия. Но узел сопряжения кровельных плит с фермами сложен. Короткие цилиндрические оболочки использованы в покрытиях типа КЖС, пролетом 12—24 м.