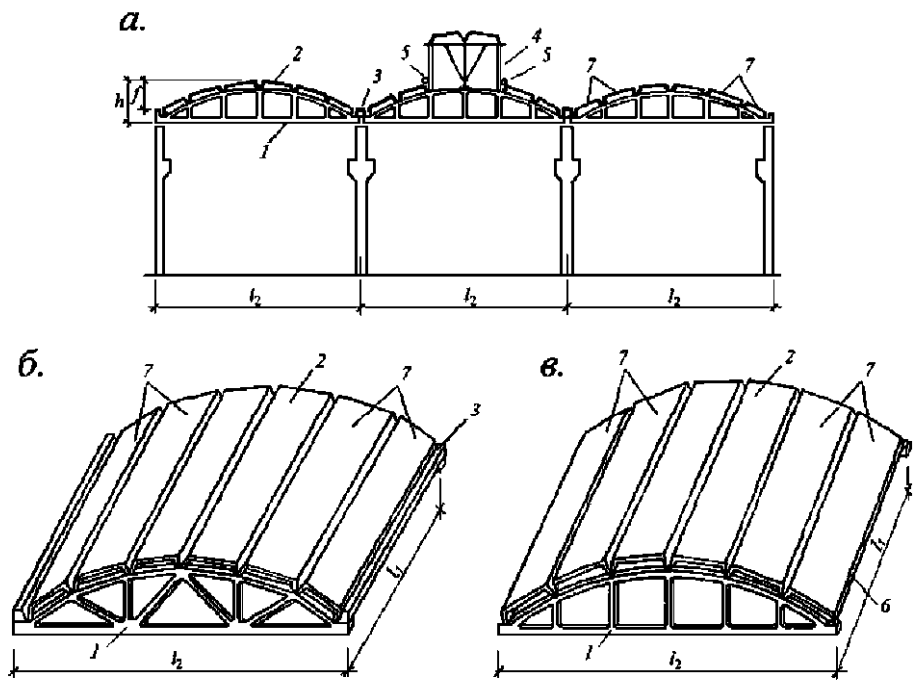
Рекомендации по расчету коротких призматических складок

9.38. Короткие призматические складки состоят из плоских ребристых плит, бортовых элементов и диафрагм (рис. 9.19, *а,* б).

Складки допускается проектировать без бортовых элементов. В этом случае функции бортовых элементов выполняют продольные ребра плит, устанавливаемые вдоль краев покрытия (рис. 9.19, *в).*

9.39. Расчет складчатых покрытий производят для двух стадий работы конструкции
- до и после омоноличивания швов между сборными элементами покрытия.

До замоноличивания швов сборные элементы складок рассчитывают как разрезные конструкции на воздействие нагрузок, возникающих в стадиях изготовления, транспортирования и возведения.



а — конструкция складчатого покрытия; *б* — складка с бортовыми элементами; *в* — то же, без бортовых элементов; 1 — диафрагма, 2 — ребристая плита; 3 — бортовой элемент; 4 — стальной фонарь; 5 — подвеска; 6 — продольное ребро плиты, выполняющее функции бортового элемента; 7 — крайние грани складки

Рисунок 9.19. Короткая призматическая складка

После замоноличивания швов (в стадии эксплуатации) складку рассчитывают на воздействие постоянных и временных нагрузок - как пространственную конструкцию по схемам разрушения, охватывающим одну или две крайние грани складки. Средняя часть складки, расположенная между четырьмя крайними гранями (по две с каждой стороны), в эксплуатационной стадии рассчитывают только на «местное» разрушение полки, поперечных ребер, а также продольных ребер плит, не закрепленных швами замоноличивания от кручения.

9.40. Для стадии работы до омоноличевания швов расчет выполняют для подбора арматуры сборных элементов складчатого покрытия, требуемой для работы в стадиях изготовления, транспортирования и возведения. Назначение геометрических размеров поперечных сечений сборных элементов производят на основании опыта проектирования близких по очертанию складчатых покрытий и корректируют в дальнейшем расчетом для стадии эксплуатации.

При изготовлении сборные элементы складок рассчитывают на воздействие усилий предварительного напряжения, вводимых в расчет как внешняя внецентренно приложенная сила.

При подъеме, транспортировании и монтаже сборные элементы складок рассчитывают как разрезные конструкции на воздействие собственного веса с учетом коэффициента динамичности.

В стадии возведения сборные элементы складок рассчитывают как разрезные конструкции на воздействие собственного веса и снеговой нагрузки, учитываемой в соответствии с требованиями СП 20.13330.

В стадиях изготовления, транспортирования и возведения производят подбор предварительно напряженной арматуры бортового элемента и плиты, а также обычной арматуры — верхнего стержня каркаса продольных ребер; кроме того, проверяют прочность и трещиностойкость концевых участков ребер при отпуске напряжения.

При проектировании верхнего пояса ферм-диафрагм в неразрезных покрытиях (рис. 9.22) арматуру

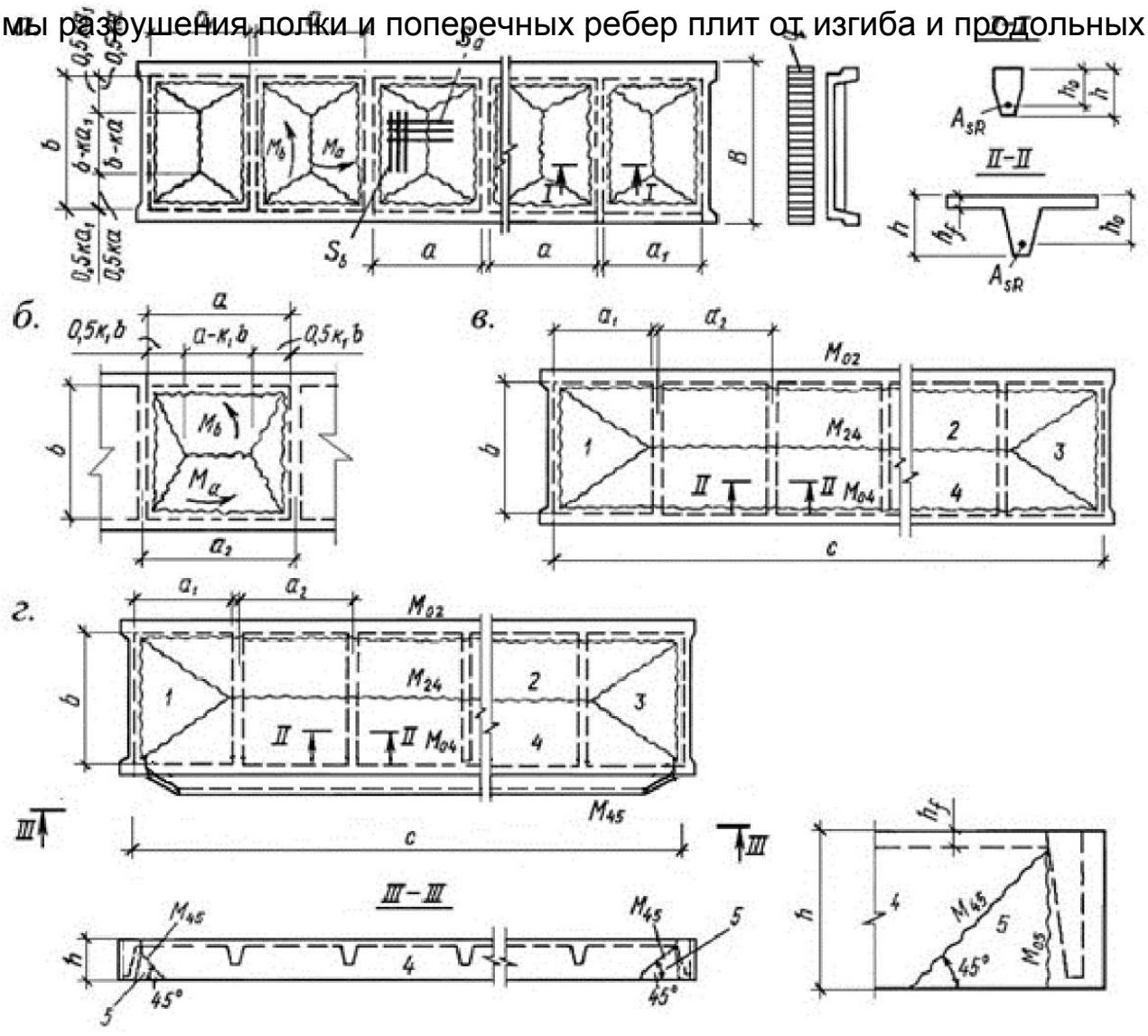
Расчет коротких ребристых призматических складок покрытий для стадии эксплуатации производят по прочности, жесткости и ширине раскрытия трещин.

Расчет прочности складок покрытий рекомендуется производить кинематическим способом метода предельного равновесия - по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.20 и 9.21.

Жесткость и ширину раскрытия трещин в полке плиты и в поперечных ребрах определяют согласно указаниям СП 63.13330. Требуемая жесткость продольных ребер плит складчатого покрытия, как правило, обеспечивается при условии $h / l_1 > 1/33$, где h — высота ребра; $l1$ — длина пролета.

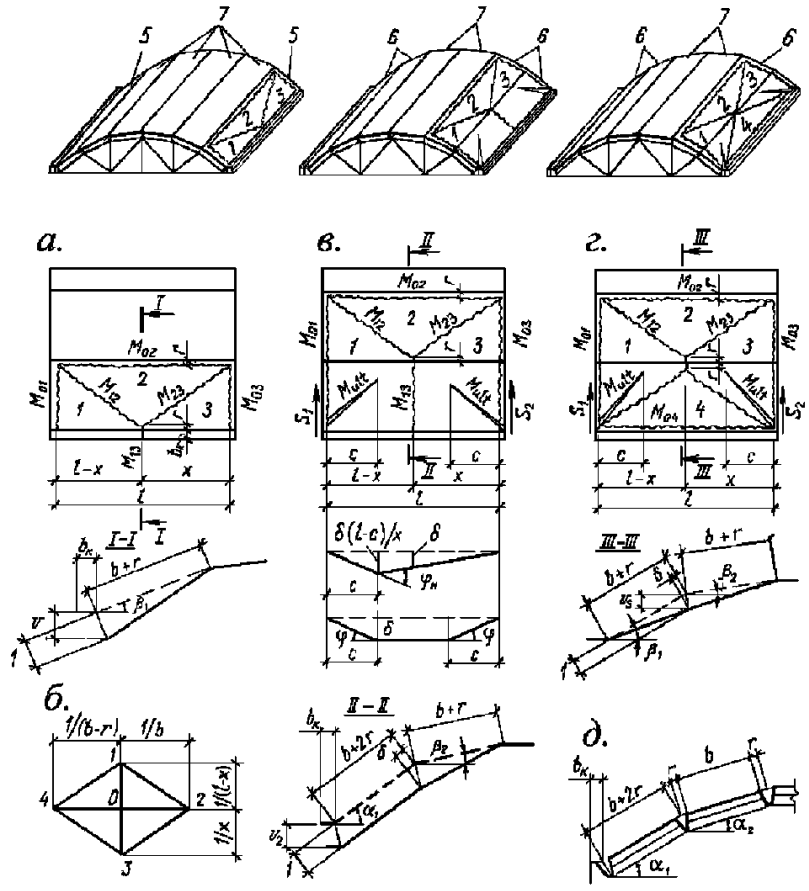
Расчет призматических складок покрытий по прочности следует производить в следующей последовательности: сначала по местным схемам разрушения рассчитывают полку, поперечные и продольные ребра плит (от кручения), затем — складки покрытия и диафрагмы.

Рисунок 9.20. Схемы разрушения полки и поперечных ребер плит от изгиба и продольных ребер от кручения



а, б, в — схемы разрушения для всех плит; *г* — то же, для крайних плит; *1...5* — диски в схемах разрушения

Рисунок 9.21. Схемы разрушения складчатого покрытия



а — схемы разрушения первой грани складки и бортового элемента; *б* — диаграмма скоростей виртуальных перемещений; *в* — схема разрушений двух граней складки с изломом бортового элемента; *г* — то же, без излома бортового элемента; *д* — поперечное сечение складки у края; 1...4 — диски в схемах разрушения; 5 — первые грани складки; 6 — первая и вторая крайние грани складки; 7 — средняя часть складки.

Расчет полки и поперечных ребер плиты

9.48. Расчет по прочности полки и поперечных ребер плит покрытия следует производить по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.20, *а, б, в,* а крайних плит складок - по схеме разрушения, приведенной на рис. 9.20,г.

Изгибающие моменты в полке на единицу длины линии излома и в поперечных ребрах определяют по «конвертным» схемам разрушения в зависимости от значения параметра:

$$k - \gamma / [1 - R_{sf} h_s / (\eta R_{sR} h_0)] \qquad (9.12)$$

При *к < 1/у* разрушение полки происходит по схеме, приведенной на рис. 9.20, *а,* и предельное значение изгибающих моментов, воспринимаемых сечением, определяют по формулам:

$$M_a = \eta q a^2 (3 - \gamma k) k / [48 (k + \gamma \psi)];$$
$$M_b - \psi M_a; \qquad (9.14)$$

$$M_R - q a^3 (3 - k^2 \gamma^2) / 24 \gamma^2 + q_R b^2 / 8;$$
$$\psi - k^3 / (3 - 2 \gamma k) \qquad (9.16)$$

При *к >1 /у* разрушение полки происходит по схеме, приведенной на рис. 9.20, *б.* В этом случае принимают $к_1$ = 1/к и предельное значение изгибающих моментов определяют по формулам

$$M_b - \eta q b^2 (3 \gamma - k_1) k_1 / [48 (k_1 \gamma \quad \psi)];$$
$$M_a - \psi M_b;$$
$$M_R = q k_1 b^3 / 12 + q_R b^2 / 8;$$
$$\psi - k_1^2 / (3 - 2 k_1 / \gamma) \qquad (9.20)$$

В формулах (9.12) —(9.20):

T — коэффициент, учитывающий влияние распора. В первом приближении рекомендуется принимать *]* = 1.

q — равномерно распределенная нагрузка на единицу площади полки с учетом ее веса;

v= a / b — отношение сторон полки;

M_a, M_b — изгибающие моменты на единицу длины линии излома, действующие в сечениях полки соответственно в поперечном и продольном направлениях;

q_R — нагрузка на единицу длины поперечного ребра, расположенная на ребре и рассчитываемая с учетом его веса;

M_R — изгибающий момент, приходящийся на сечение поперечного ребра без полок (рис. 9.20, сечение I—I);

Rf, RSR — расчетные сопротивления на растяжение арматуры соответственно полки и поперечных ребер;

*hf, h*0 — соответственно толщина полки и рабочая высота ребра.

9.49. Несущую способность плиты, армированной по результатам расчета по схеме разрушения, приведенной на рис. 9.20, а и б, следует проверить расчетом при схеме разрушения полки и поперечных ребер по рис. 9.20, *в.*

Изгибающий момент M_{24}, действующий на все поперечные ребра плиты в пролете, определяют по формуле

$$M_{24} - q b^2 (3 c \quad 2 a_1) / 24 \quad M_{02}. \qquad (9.21)$$

где *q* — нагрузка на единицу площади полки с учетом веса поперечных ребер; *b* — расстояние в свету между продольными ребрами;

a_1 — расстояние в свету между торцевым и поперечным ребрами (рис. 9.20, *в,* г); *М*02 — изгибающий момент, воспринимаемый всеми поперечными ребрами плиты в местах их примыкания к продольным, рассчитывается исходя из установленной в полке арматуры, подобранной по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.20, *а, б, в* или г; *с* — расстояние между внутренними гранями торцевых ребер.

Подбор арматуры производят по большему значению изгибающего момента в пролете, приходящего на одно поперечное ребро и вычисленного по формулам (9.15) или (9.19) и (9.21).

9.50. Расчет поперечных ребер плиты на действие поперечной силы производят по указаниям СП 63.13330. Максимальное значение поперечной силы в поперечном ребре определяют в зависимости от схемы разрушения, определившей его продольное армирование. При схеме разрушения, приведенной:

на рис. 9.20, *а*

$$Q - q a (2 b - a k) / 8 \quad q_R b / 2; \qquad (9.22)$$

на рис. 9.20, *б*

$$Q - q b^2 k_1 / 8 \quad q_R b / 2; \qquad (9.23)$$

на рис. 9.20, *в, г*

$$Q - b (q a - q_R) / 2 \qquad (9.24)$$

При расчете жесткости и ширины раскрытия трещин принимают:

а) полное защемление полки в поперечных и продольных ребрах и шарнирное опирание поперечных ребер - если расчет ведется по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.20, *а,* б;

б) полное защемление поперечных ребер в продольных - при расчете по схеме разрушения, приведенной на рис. 9.20, *в;*

в)защемление с одной стороны поперечного ребра и шарнирное опирание с другой - при расчете по схеме разрушения, приведенной на рис. 9.20, г.

При определении прогибов поперечных ребер следует принимать тавровое сечение ребра (рис. 9.20, сечение II—II).

Расчет продольных ребер на кручение

9.51. В крайних плитах складчатых покрытий, выполняемых без бортовых элементов, и в плитах, примыкающих к фонарным проемам, кроме схем разрушения, приведенных на рис. 9.20, *а, б, в,* следует рассматривать и схему разрушения, приведенную на рис. 9.20, г.

Крутящие моменты M_{45}, действующие в наклонных сечениях концевых участков продольных ребер под углом 45° к их нижней плоскости, воспринимаются сетками, устанавливаемыми на концевых участках продольных ребер, и их значения определяют по формуле:

$$M_{45} = [q\,(B - b)^2\,(3\,c - 2\,a_1)\,/\,48 - (M_{02} - 2\,M_{24})\,]\,/\,2\sqrt{2} \qquad (9.25)$$

Во всех случаях учитывают, что угловая арматура не воспринимает усилий растяжения, а изгибающий момент M_{05} принимают равным нулю.

Если в результате расчетов по формуле (9.24) значение $M_{45} < 0$, то концевые участки продольных ребер на кручение не армируют.

Схемы разрушения складок

9.52. Короткие призматические складки покрытий на действие равномерно распределенной нагрузки рассчитывают по трем схемам разрушения (рис. 9.21, *а, в,* г), охватывающим одну или две грани у свободного края.

Предельные значения изгибающих моментов в сечениях определяют на основе кинематического способа теории предельного равновесия.

При изломе двух граней складки работа внутренних сил определяется из пространственной схемы перемещений жестких звеньев - в том числе и перемещения в плоскости одной из граней, излом которой происходит как балки на двух опорах от достижения в наклонных сечениях предельных изгибающих моментов M_uц (рис. 9.21, *в,* г).

9.53. При расчете неразрезных складок покрытий армирование продольных ребер плит и бортовых элементов подбирают в соответствии с усилиями от нагрузок, действующих до замоноличивания швов между сборными элементами, а армирование полки и поперечных ребер плит — в соответствии с усилиями от нагрузок, действующих после замоноличивания швов. Опорные моменты M_{01} и M_{03} на промежуточных диафрагмах следует определять для стадии эксплуатации (на крайних диафрагмах $M01 = 0$ и $M03 = 0$).

В неразрезной складке покрытий бесфонарных зданий опорные арматурные каркасы, устанавливаемые в швы между бортовыми элементами и плитами, а также между плитами первой и второй граней над диафрагмами, устанавливают по расчету. В остальных швах между плитами над диафрагмами каркасы устанавливают конструктивно. В покрытиях зданий с фонарями, а также в покрытиях по фонарям все арматурные каркасы устанавливают по расчету.

Если суммарная величина опорных моментов над диафрагмой, определенных из расчета по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.21, *а, г,* больше изгибающего момента, определенного из расчета по схеме разрушения, приведенной на рис. 9.21, в, то подбор сечения рабочих стержней арматурных каркасов, устанавливаемых в швах между бортовым элементом и плитой, а также между плитами первой и второй граней складки над диафрагмами, производят по опорным моментам, определенным из расчета по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.21, *а, г.*

Если суммарная величина этих же опорных моментов над диафрагмой меньше изгибающего момента, определенного из расчета по схеме разрушения, приведенной на рис. 9.21, *в,* то этот опорный момент следует распределить между швами таким образом, чтобы на каждый шов приходилась величина момента не меньше, чем вычисленная по схемам разрушения, приведенным на рис. 9.21, *а, г.*

9.54. Армирование полки, поперечных ребер плит разрезных складок покрытий и продольных ребер первой и второй граней складки подбирают из расчета для стадии эксплуатации. Армирование продольных ребер плит остальных граней складки (в средней части покрытия) определяют из расчета по стадиям изготовления, транспортирования и возведения. В покрытиях зданий с фонарями, а также в покрытиях по фонарям следует подбирать армирование продольных ребер всех плит расчетом для всех стадий их работы.

Расчет на сдвигающие усилия

9.55. Максимальные сдвигающие усилия S_1 и S_2, действующие справа и слева на диафрагмы в плоскости первой грани складки, воспринимаются:

- в неразрезных складчатых покрытиях - бетонными шпонками верхнего пояса диафрагм;
- в разрезных складчатых покрытиях стальными упорами, приваренными к закладным деталям опорных узлов диафрагм;
- в покрытиях с фонарями — бетоном омоноличивания в узле опирания плит и стойки рамы фонаря на диафрагму.

Проверку наклонных сечений первой грани складки на действие сдвигающих усилий производят как для балок на действие поперечной силы.

Сварные швы в местах приварки продольных ребер плиты следует рассчитать, на действие сдвигающих усилий S_1 или S_2 - с учетом того, что у краев покрытия и у температурных швов, где ось первой диафрагмы смещена, сдвигающее усилие $S1$ или $S2$ передается на одно продольное ребро.

Несущую способность продольного ребра на скалывание следует определять по формуле

$$P = \alpha\, R_{bt}\, u\, h_0, \qquad (9.26)$$

где а— коэффициент, принимаемый для тяжелых бетонов равным 1, для бетонов на пористых заполнителях — 0,8.

u — среднее арифметическое между периметрами оснований пирамиды, образующейся при продавливании.

Если $P < S_1$, то следует предусмотреть конструктивные мероприятия для снижения сдвигающего усилия - например, в виде устройства связи между плитами первой и второй граней складки по верху торцевых ребер, что обеспечит передачу части $S1$ на плиту второй грани покрытия.

Расчет диафрагм

9.56. В стадии эксплуатации расчет диафрагм допускается производить на вертикальные нагрузки, собираемые с грузовых площадей, приходящихся на соответствующие узлы.

Статический расчет диафрагм производят с учетом жесткости узлов как многократно статически неопределимой системы. Допускается расчет диафрагм производить как шарнирно-стержневой системы с учетом изгибающих моментов, возникающих от нарушения центрации узлов.

Конструирование коротких призматических складок

9.54. Складки могут быть одно- и многоволновыми в поперечном направлении, разрезными и неразрезными — в продольном. Короткие призматические складки рекомендуется выполнять сборно-монолитными. Сборные элементы складки сваривают между собой на монтаже, а швы между ними замоноличивают. Плиты к диафрагмам следует приваривать на всех четырех опорах по доступному контуру.

Совместную работу элементов складок рекомендуется обеспечивать:

для неразрезных складок — устройством бетонных шипов на верхнем поясе диафрагм, пазов на наружных гранях продольных и торцевых ребер плит и бортовых элементов, установкой арматурных каркасов в швах замоноличивания;

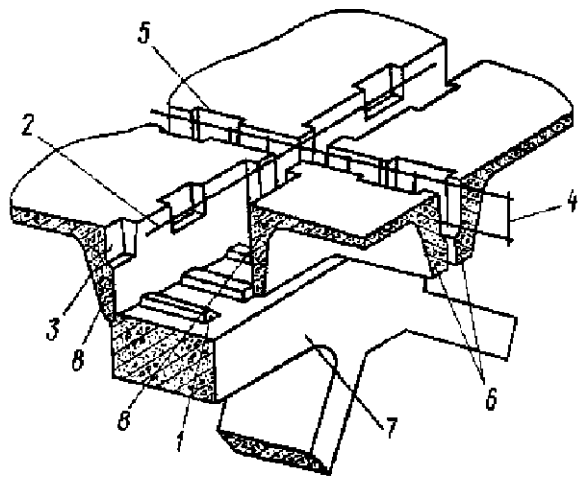
для разрезных складок — устройствам пазов на наружных гранях.

9.55. Призматические складки рекомендуется применять в покрытиях одноэтажных производственных зданий массового строительства пролетами 18—36 м с фонарями и без фонарей, с мостовыми кранами грузоподъемностью до 50 т.

К элементам складки допускается подвеска двух- или трехопорных кран-балок грузоподъемностью до 6 т или подвесного тельфера грузоподъемностью до 5 т.

9.56. Для образования призматической поверхности складки рекомендуется использовать плоские ребристые плиты размером 3х6 или 3х12 м.

Очертание верхнего пояса диафрагм должно соответствовать поверхности складки. В неразрезных складках после замоноличивания образуется комплексное сечение верхнего пояса, что позволяет облегчить диафрагму (рис. 9.22).



1 — бетонные шипы на верхнем поясе диафрагмы; 2 — стержень, армирующий комплексное сечение
3 — пазы на торцевых ребрах плит; 4 — каркас в продольном шве между плитами над диафрагмами;
5 — пазы на продольных ребрах плит; 6 — продольные ребра плит; 7 — верхний пояс диафрагмы;
8 — торцевые ребра плит.

Рисунок 9.22. Узел сопряжения плит с диафрагмой при комплексном сечении верхнего пояса

Допускается использование типовых ферм, очертание которых не соответствует поверхности складки. В этом случае комплексное сечение не образуется, а ребра плит складки опираются на бетонные столбики, устраиваемые в узлах ферм.

9.60. Сборные железобетонные элементы складчатых покрытий рекомендуется проектировать из тяжелого (классов В20—В30 по прочности на сжатие) или легкого (классов В15—В20) бетона.

Диафрагмы рекомендуется проектировать из тяжелого бетона (классов В30—В50 и выше).

9.61. В качестве предварительно напряженной арматуры продольных ребер плит, бортовых элементов и нижних поясов ферм-диафрагм рекомендуется применять стержни из арматуры классов А500, А600, А800 и арматурные канаты класса К1400. Полку плит толщиной 30 мм рекомендуется армировать сварными сетками из арматуры класса В500. Ненапрягаемую арматуру ребер плит, элементов диафрагм, а также швов замоноличивания рекомендуется выполнять в виде сварных каркасов[5] из арматуры класса А400, А500.

9.62. Ширину швов между плитами рекомендуется назначать не менее:

для продольных швов - 50 мм;

для поперечных швов над диафрагмами — 200 мм.

Омоноличивать швы рекомендуется бетоном класса по прочности на сжатие не менее В15, а в зимнее время — не менее В25.

Конструирование элементов складки

9.63. Плиты складок рекомендуется проектировать с номинальными размерами 3х6 и 3х12 м.

Продольные ребра плит рекомендуется выполнять предварительно напряженными. Высоту продольных ребер рекомендуется принимать в пределах (1/30—1/35) l_1.

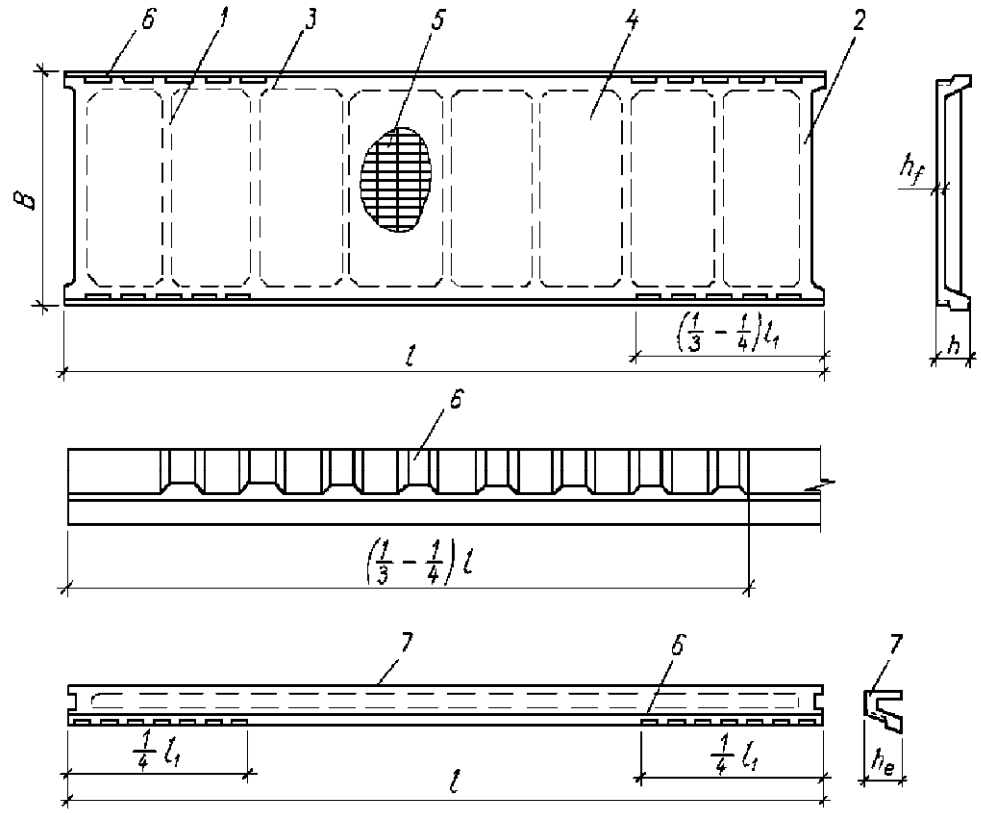
Шаг поперечных ребер рекомендуется принимать равным 1—2 м. Высоту поперечных ребер рекомендуется назначать в пределах 1/15—1/20 расчетного пролета, равного расстоянию между внутренними гранями продольных ребер.

На наружных гранях продольных ребер предусматривают пазы, обеспечивающие восприятие сдвигающих усилий между плитами. Пазы располагают на длине (1/3 - 1/4) l_1 (рис 9.23).

При комплексном сечении верхнего пояса диафрагм пазы рекомендуется устраивать также на торцевых ребрах. В этом случае для омоноличивания без устройства опалубки торцевые ребра устраиваются увеличенной высоты (рис. 9.22).

9.64. Размеры бортовых элементов, как и плит, определяют по расчету с учетом конструктивных требований. Как правило, бортовые элементы проектируют лоткового сечения с торцевыми ребрами и без промежуточных ребер (рис. 9.23).

Бортовые элементы рекомендуется принимать двух типоразмеров: крайние, устанавливаемые вдоль краев оболочек, и средние, устанавливаемые по всем промежуточным рядам колонн многоволновых складок и соединяющие между собой отдельные волны.



1 — поперечное ребро; 2 —то же. торцевое; 3 —то же. продольное; 4 — полка плиты; 5 — арматурная сетка полки; 6 — пазы на продольных ребрах плиты и бортового элемента; 7 — крайний бортовой элемент.

Рисунок 9.23. Плиты и бортовые элементы

9.65. Диафрагмы складчатых покрытий рекомендуется проектировать в виде ферм сегментного очертания, безраскосных ферм или арок с железобетонной или стальной затяжкой.

В фермах-диафрагмах неразрезных складчатых покрытий предусматривают бетонные шипы на верхнем поясе, обеспечивающие совместную работу диафрагмы с плитами после омоноличивания стыка бетоном.

Диафрагмы разрезных складчатых покрытий проектируют без шипов по верхнему поясу. Совместность работы складки с диафрагмой достигается за счет сварных соединений плит и ферм, рассчитываемых на восприятие сдвигающих усилий.

Диафрагмы пролетом 18—24 м проектируют, как правило, цельными.

Для пролетов 30—36 м рекомендуется устройство составных сталежелезобетонных диафрагм, монтируемых из отдельных блоков с помощью переставных подмостей. Блоки стыкуют сваркой закладных деталей, а затяжки выполняют из прокатного металла.

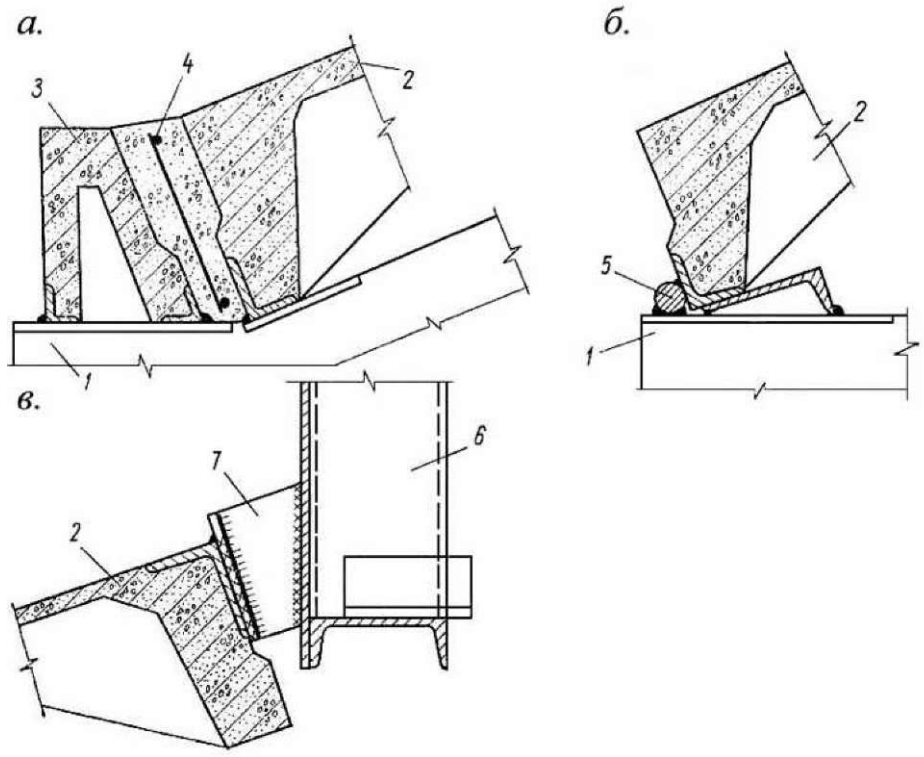
При стальной затяжке рекомендуется устраивать строительный выгиб узлов нижнего пояса, равный (1/200—1/250) l_2.

Конструирование узлов складчатых покрытий

9.66. Типовые узлы рекомендуется конструировать в соответствии с рис. 9.24. Крепление подвесного кранового оборудования рекомендуется осуществлять к диафрагмам, как в типовых конструкциях. В складчатых покрытиях допускается устройство аэрационных, светоаэрационных и зенитных фонарей с шириной проема, равной (1/2—1/3) l_2. Опирание рам фонарей следует предусматривать на верхний пояс диафрагм.

Проемы для продольных или поперечных зенитных фонарей рекомендуется устраивать при помощи плит-рамок или плит с отверстиями.

Продольные ребра плит, примыкающие к фонарному проему, рекомендуется крепить посредине пролета к стальной фонарной панели (рис. 9.24,в). Фонарная панель при этом должна быть рассчитана на дополнительную нагрузку от покрытия.



а — сопряжение диафрагмы с бортовым элементом и плитой неразрезного складчатого покрытия; *б* — то же с плитой разрезного складчатого покрытия; *в* — крепление плиты к фонарной панели; 1 — диафрагма; 2 — плита складки; 3 — бортовой элемент; 4 — арматурный каркас в шве замоноличивання; 5 — стальной упор; 6 — фонарная панель; 7 — соединительная планка-подвеска.

Рисунок 9.24. Узлы складчатого покрытия