

Госстрой СССР

Союзметаллостройниипроект

Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций имени Н.П.Мельникова  
ЦНИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ ИМ. МЕЛЬНИКОВА

УТВЕРЖДАЮ

Директор института

*В.В. Кузнецов* В.В. Кузнецов

"27" *сентября* 1984 г.

## РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТАЛЬНЫХ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ БЛОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ  
ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ  
ПАНЕЛЕЙ С ТОНКОЛИСТОВОЙ  
ОБШИВКОЙ

Москва - 1985

Рекомендации составлены в дополнение к СНиП П-23-81 и отражают специфику конструкций из предварительно напряженных панелей с тонколистовой обшивкой, совмещающих в себе функции несущих и ограждающих элементов.

В Рекомендациях изложены методика расчета и принципы конструирования, изготовления и монтажа стальных блочных покрытий из предварительно напряженных панелей с тонколистовой обшивкой, содержатся указания по применению материалов и соединений, по защите от коррозии конструкций рассматриваемого типа, а также приведены примеры расчета, конструирования, изготовления и монтажа.

Рекомендации разработаны в отделе пространственных и легких конструкций /ОПШК/ ЦНИИпроектстальконструкции им. Мельникова под руководством канд. техн. наук Ружанского И.Л.

Работа выполнена на основе проектных и научно-исследовательских изысканий, проведенных в ЦНИИпроектстальконструкции им. Мельникова и на кафедре Металлических конструкций МИСИ им. В.В. Куйбышева. Использованы основополагающие в этой области труды инженера Попова Г.Д., а также некоторые результаты исследований канд. техн. наук Фридмана Г.С. и ряда других авторов.

Рекомендации предназначены для использования в проектных институтах Всесоюзного объединения "Союзметаллостройниипроект" Госстроя СССР.

В разработке Рекомендаций по разделам принимали участие: канд. техн. наук Ружанский И.Л. /пп. 1-4/; инж. Полякова В.А. /пп. 1-2, 4/; инж. Силкин В.Ф. /п. 2/; докт. техн. наук Голубев А.И.; канд. хим. наук Оносов Г.В., канд. техн. наук Шляфирнер А.М.; инж. Седулина Н.И. /п. 3/.

Все замечания и предложения направлять по адресу: г. Москва, П-7393, ул. Архитектора Власова, 49, отдел пространственных и легких конструкций.

С Центральным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций имени Н.П. Мельникова, 1985 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие рекомендации распространяются на проектирование конструкций стальных пространственных блочных покрытий из предварительно напряженных панелей с тонколистовой обшивкой.

Покрытия рассматриваемого типа набираются из несущих пространственных блоков, поясами которых являются предварительно напряженные панели полной заводской готовности, объединенные решеткой и выполняющие одновременно функции ограждающих конструкций. Область рационального применения покрытий данного типа является как общественные, так и производственные, - в том числе с подвесным или мостовым крановым оборудованием, - здания с пролетами от 30 м и до 120 м включительно.

Эффективность применения блочных покрытий из предварительно напряженных панелей увеличивается в тех случаях, когда требуется организация технического этажа в межферменном пространстве покрытия.

1.2. При проектировании элементов предварительно напряженных стальных конструкций рассматриваемого типа необходимо учитывать требования СНиП на проектирование стальных конструкций, за исключением пунктов, особо оговоренных в настоящем руководстве.

1.3. Осуществление предварительного напряжения в панелях с тонколистовой обшивкой приводит к совмещению в них несущих и ограждающих функций и, как следствие, к следующим общим результатам:

а) к существенному сокращению сроков строительства за счет повышенной степени заводской готовности конструкции и возможности применения индустриальных методов поточно-блочного монтажа покрытия;

б) к уменьшению деформативности конструкций покрытия за счет введения в работу тонколистовой обшивки;

в) к некоторому сокращению расхода стали на покрытие за счет исключения собственно ограждающих конструкций и связей по покрытию.

1.4. Выбор способа, последовательности создания и уровня предварительного напряжения обосновывается расчетом и производственными соображениями.

1.5. Проект конструкций стальных пространственных блочных покрытий из предварительно напряженных панелей с тонколистовой обшивкой должен содержать схему производства работ, связанных с изготовлением панелей и их предварительным напряжением, указания по контролю величины предварительного напряжения, пояснительную записку с необходимыми расчетами.

## 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ

### А. Конструирование

2.1. Блоки покрытия конструируются в соответствии с указаниями пп. 2.2-2.7.

Сборка блоков покрытия производится из пространственных сборочных элементов.

Пространственный сборочный элемент блока покрытия, состоящий из единичных панелей, объединенных вертикальными осями, называется блок-панелью. Длина блок-панели соответствует длине панели и ограничивается размерами провозного габарита (см.п. 2.8).

Высоту блока покрытия в коньке следует назначать в пределах  $1/10-1/20$  пролета. Ширина блока покрытия соответствует ширине панели, ограничивается размерами провозного габарита, а также зависит от шага колонн каркаса здания.

2.2. Возможны два варианта конструктивных решений блоков покрытия.

Если применение панелей в обожх поясах ферм оправдано расчетом или технологическими требованиями (например, необходим технический этаж в межферменном пространстве), решетка продольных несущих ферм и поперечных связевых ферм может выполняться россыпью поэлементно (рис.1,2).

Если применение панелей для нижних поясов ферм не оправдано, продольные несущие фермы и поперечные связевые фермы выполняются на заводе с размерами, соответствующими провозному габариту (рис.3). При этом панели включаются в работу в составе верхних поясов ферм.

Таким образом, заводскими отправочными марками конструкции блока покрытия являются (см.рис.1):

- предварительно напряженные панели верхнего и нижнего поясов (1);

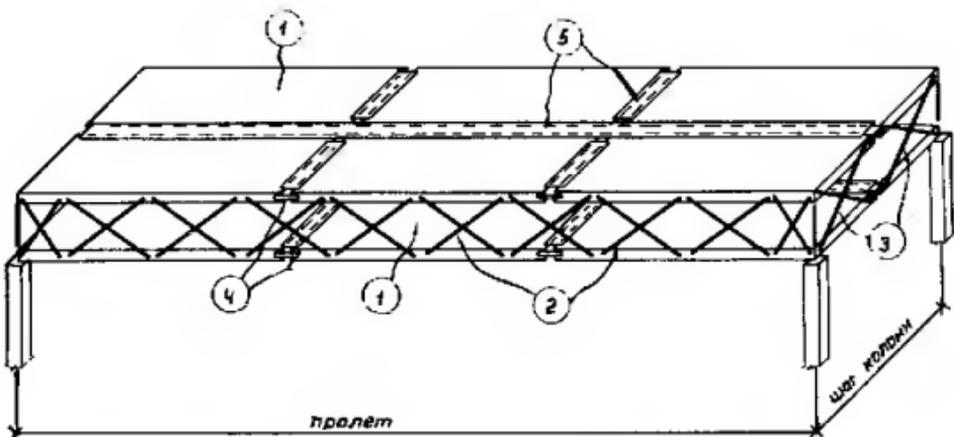


Рис. 1. Схема разбивки конструкции покрытия на отправочные марки

- элементы решетки продольных ферм рессоры либо элементы продольных ферм провозного габарита (2);
- элементы вертикальных поперечных связей рессоры либо в виде ферм (3);
- монтажные стыковые накладки продольных элементов каркаса панелей (4);
- монтажные стыковые накладки продольных и поперечных стыков обшивки панелей, которые выполняются в виде узких полосовых нащельников (5).

При отсутствии в блоках покрытия панелей нижнего пояса по нижним поясам блоков устанавливаются стационарные горизонтальные связи в соответствии с рекомендациями СНиП II-23-81.

Монтажные вертикальные поперечные связи следует устанавливать не менее чем по одной на каждый блок-панель.

2.3. Решетку продольных несущих ферм, выполненную рессоры (поэлементно) (см. п. 2.2), рекомендуется konstruировать крестового типа из одиночных уголков.

В тех случаях, когда усилия в элементах решетки продольных ферм невелики и применение полной крестовой решетки не оправдано расчетом, возможно выполнять решетку для каждого из монтажных

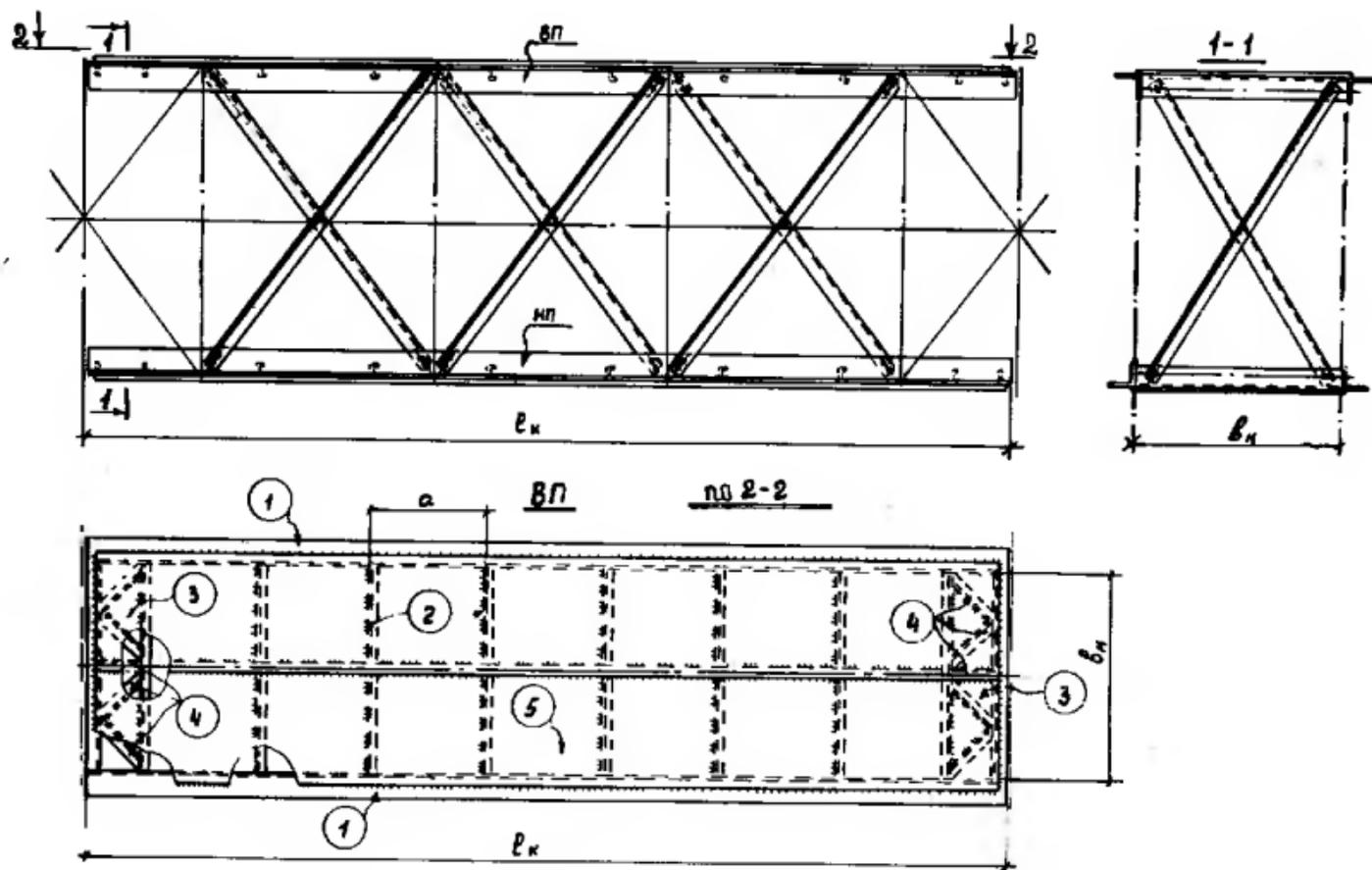


Рис.2. Блок-панель покрытия

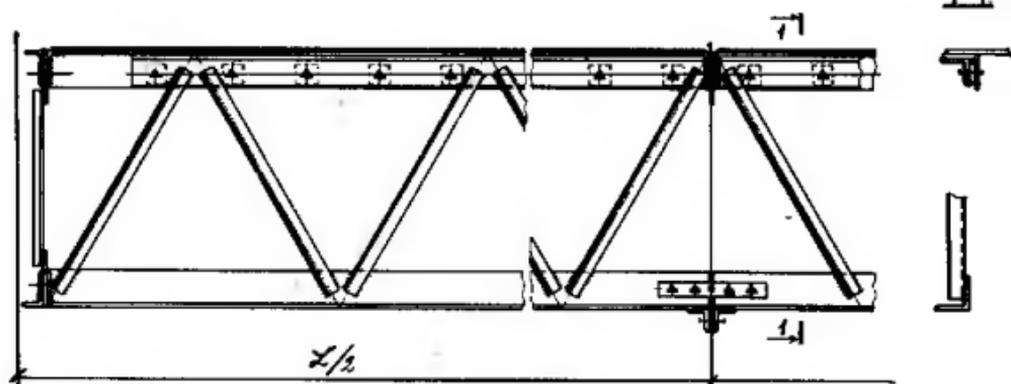


Рис.3. Сварная продольная ферма, прикрепляемая к панели

блоков треугольного очертания, причем решетка блока начинается с опорного нисходящего раскоса, а заканчивается опорным восходящим раскосом. При укрупнительной сборке продольные решетки двух соседних блоков объединяются через прокладки, и в рабочем состоянии решетка продольных ферм получает крестовое очертание.

Крепление элементов решетки может осуществляться как непосредственно к продольным элементам каркаса верхних и нижних панелей блоков (бесфасоночное решение — рис.4а), так и через фасонки (рис.4б).

2.4. Панели конструируются в соответствии с указаниями пп. 2.8-2.11 (рис.2, вид по 2-2).

Продольные элементы "1" каркаса панелей рекомендуется выполнять из прокатных уголков, поперечные элементы "2" каркаса панелей — из гнутых швеллеров, а торцевые элементы "3" — в виде фермочек с раскосами и стойками "4" из уголков.

Тонколистовая обшивка панелей выполняется в соответствии с пп. 2.12-2.14. Рекомендуемые толщины обшивки составляют от 1,0 мм до 2,0 мм. Применение обшивки толщиной свыше 2 мм допускается лишь при специальном обосновании. Допускаемые несовершенства обшивки (хлопуны) следует принимать в пределах 20-25 мм на площадке, ограниченной продольными и поперечными элементами каркаса панели.

2.5. При применении продольных ферм заводского изготовления, а также полной крестовой решетки для продольных ферм каждого из



Рис. 4.

- а) - крепление раскосов  
решетки непосредствен-  
но к продольным эле-  
ментам каркаса панели;
- б) - опорный узел блока  
покрытия

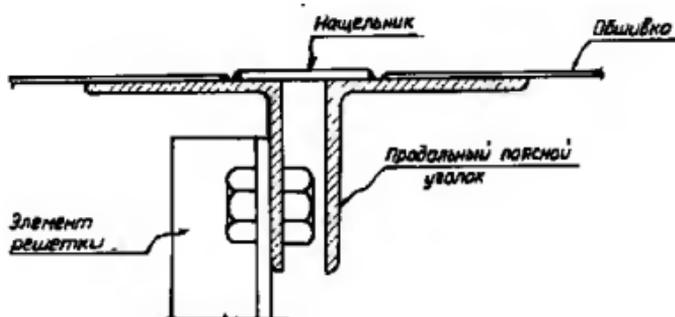


Рис. 5. Узел сопряжения продольных поясов двух сосед-  
них блоков при треугольной решетке для каждо-  
го из монтажных блоков

монтажных блоков, продольные элементы каркаса панелей должны быть развернуты обшивками внутрь блока (или панели) (см. рис. 2). При применении треугольной решетки с последующим объединением ее в крестовую в процессе укрупнительной сборки, продольные элементы каркаса панелей должны быть развернуты обшивками "во-вне" блока (или панели) (рис. 5).

2.6. Материалы для стальных предварительно напряженных конструкций с тонколистовой обшивкой и для соединений элементов этих конструкций выбираются в соответствии с указаниями СНиП П-23-81.

В необходимых случаях указываются дополнительные требования к поставляемым материалам, предусмотренные ГОСТами или техническими условиями.

В настоящих Рекомендациях отмечаются лишь специфические для рассматриваемых конструкций особенности в выборе материалов, а также видов соединений.

2.7. Для тонколистовой обшивки панелей могут быть применены как углеродистые, так и низколегированные стали, холоднокатаные, полистовой или рулонной поставки.

Рекомендуются коррозионностойкие стали: оцинкованные стали по ГОСТ 14918-69, алюминированные стали и стали марок 10ХНДП и 10ХДП, не требующие в условиях неагрессивной и слабоагрессивной среды антикоррозионной защиты (см. раздел 3 "Защита от коррозии").

## Б. Заводское изготовление предварительно напряженных панелей

### 1) Каркас панелей

2.8. Изготовление предварительно напряженной панели любого типа, независимо от применяемого способа натяжения обшивки, начинается с изготовления жесткого каркаса. Каркас выполняется в виде сварной рамы из прокатных или гнутых профилей (см. рис. 2). Размеры рамы соответствуют размерам панели и ограничиваются размерами провозного габарита:  $l_k \leq 12,0$  м;  $b_k < 3,8$  м.

2.9. Каркас панели состоит из продольных "1", поперечных "2" и торцевых "3" элементов.

Поперечные элементы "2" ввариваются между продольными элементами "1" с шагом  $a = 1,0-2,0$  м и выполняют роль прогонов, воспринимающих местную нагрузку от кровельного покрытия и снега.

2.10. Торцевые элементы "3" служат для передачи на продольные элементы "1" усилий, создаваемых в процессе натяжения обшивки. В период эксплуатации они воспринимают неуравновешенные цепные силы, возникающие при работе обшивки как мембраны на местные нагрузки.

Торцевые элементы "3" могут выполняться как в виде фермочек (см. рис. 2) с раскосами и стойками "4", так и в виде сплошного балочного элемента. Конструкция торцевого элемента зависит, главным образом, от способа натяжения обшивки и от требуемой величины силы натяжения.

2.11. Поперечные элементы "2" и торцевые "3" свариваются между продольными элементами "1" заподлицо с верхними полками последних так, чтобы образовалась ровная поверхность, по которой в дальнейшем укладывается обшивка. Всесварные швы, выступающие над этой поверхностью, зачищаются.

## 2) Тонколистовая обшивка

2.12. Технологическая карта обшивки "5", соответствующая размерам каркаса в плане, изготавливается параллельно с изготовлением каркаса. Процесс изготовления карты обшивки зависит от вида поставки тонколистовой стали с металлургического завода. Поставка может быть осуществлена в рулонах шириной до 1,45 м либо в листовом исполнении с размерами листа по длине до 6,0 м и по ширине до 2,5 м.

2.13. Если лист поставлен в рулонах, то технологическая карта обшивки сваривается из двух (см. рис. 2) или более полос продольными швами либо точечной сваркой. В том случае, когда осуществлена полистовая поставка и длина каркаса существенно больше длины поставленного листа, появляется необходимость в дополнительных поперечных стыках, которые также осуществляются сварными.

2.14. Размеры технологической карты обшивки в плане несколько меньше размеров каркаса и равны соответствующему расстоянию в свету между контурными элементами каркаса плюс величина нахлеста,

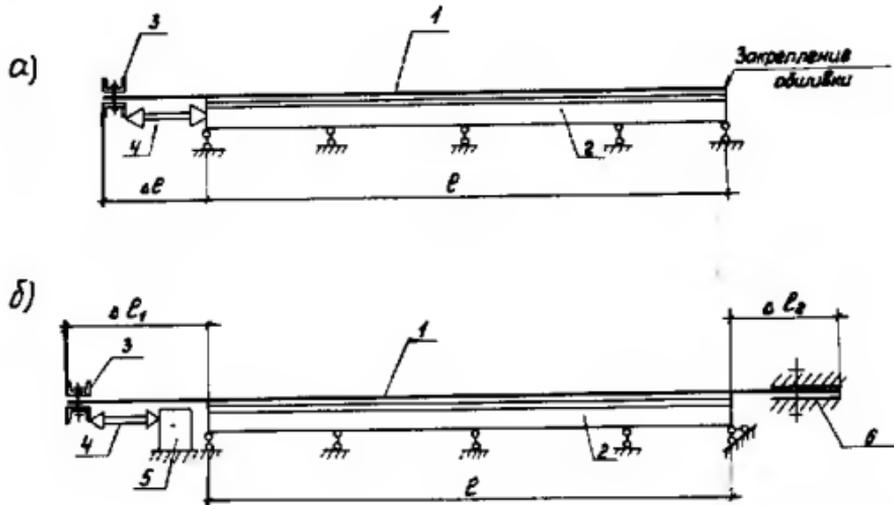


Рис.6. Схемы натяжения обшивки методом прямого натяжения  
 а) - модификация 1;  
 б) - модификация 2

минимально необходимого для прикрепления к ним обшивки. При необходимости на технологическую длину обшивки дается припуск с целью размещения натяжных приспособлений (рис. 6).

### 3) Натяжение обшивки на каркас

2.15. В настоящее время достаточно полно для практических целей разработано четыре основных способа натяжения обшивки на каркас панели: метод "прямого натяжения обшивки на каркас панели"; "изгибный метод"; метод "тетива"; метод "съёмного инвентарного элемента". Наиболее эффективными и одновременно технологичными являются метод "прямого натяжения обшивки на каркас панели" и метод "тетива" (см. научно-технический отчет по теме № 813-07-79, выпуск ЛШВК ЦНИИПСК Госстроя СССР, М., 1979).

а) Метод "прямого натяжения обшивки на каркас панели".

2.16. Натяжение обшивки производится внешними силами до расчетной величины предварительного напряжения, после чего обшивка полностью прикрепляется к каркасу.

2.17. Возможны две разновидности этого способа (см. рис. 6).

а) Обшивка "1" укладывается на каркас "2" и прикрепляется к одному из торцевых элементов каркаса, второй свободный край обшивки закрепляется в силовом захвате "3". Между захватом и торцом панели размещаются натяжные домкраты "4". При этом в процессе натяжения обшивки на каркас панели передаются сжимающие усилия. Схема этого способа показана на рис. 6а.

б) Домкратная система располагается вне панели и имеет свои автономные упоры "5". Обшивка "1" свободно укладывается на каркас "2" и обоими концами закрепляется в захватах "3" и "6" домкратной системы, один из которых выполняется неподвижным (рис. 6б). В процессе вытяжки обшивки усилия от домкратов "4" воспринимаются автономными упорами; на каркас панели сжимающие усилия передаются только после полного прикрепления обшивки и освобождения ее от захватов.

б) Натяжение обшивки на каркас панели методом  
"тетива"

2.18. Схема последовательности операций метода "тетива" изображена на рис. 7.

Плоский каркас панели (рис. 7.1) упруго выгибается на стенде до расчетного радиуса "Z" (рис. 7.2). Затем обшивка раскладывается над каркасом на временных подкладках, которые образуют горизонтальную плоскость в уровне торцов каркаса, и прикрепляется к торцевым элементам каркаса с двух сторон, после чего подкладки удаляются (рис. 7.3). Теперь каркас освобождается от закреплений и под действием внутренних упругих сил распрямляется, вытягивая обшивку, как тетиву лука (рис. 7.4), после чего обшивка прикрепляется к продольным и поперечным элементам каркаса (рис. 7.5).

2.19. В процессе натяжения при необходимости легко ввести операцию по конструктивной вытяжке обшивки с целью выправления ее начальных несовершенств.

Для этого горизонтально выложенная на подкладках обшивка прикрепляется к одному из торцевых элементов каркаса, а с другого торца вытягивается конструктивным усилием с помощью струбци или легких домкратов. После вытяжки свободный край обшивки прикрепляется ко второму торцевому элементу каркаса панели.

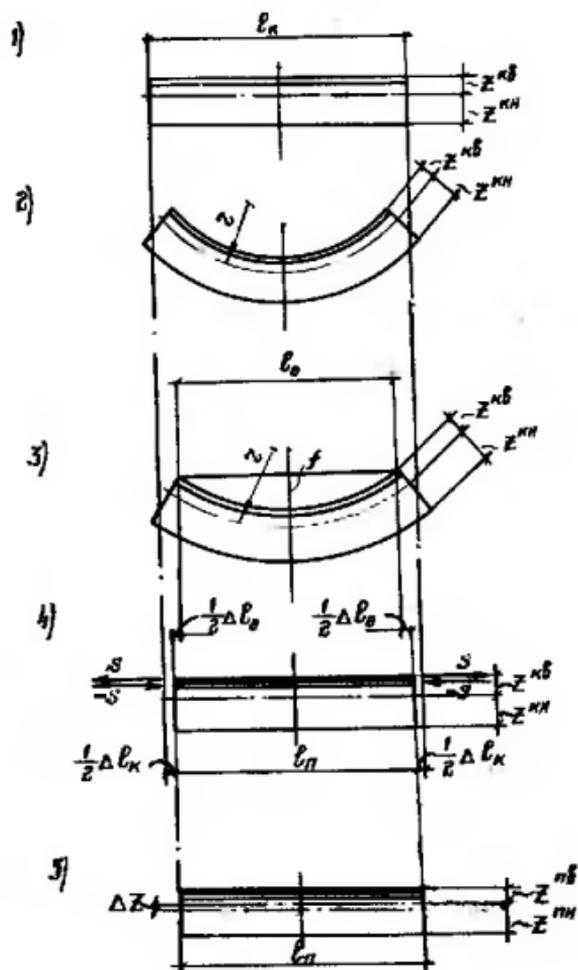


Рис. 7. Схема последовательности операций предварительного натяжения обшивки панели методом "тетива"

Эта небольшая дополнительная операция полностью обеспечивает качество изготовленной панели.

## В. Монтаж блочных конструкций и в предварительно напряженных панелей

2.20. Панели, работающие в составе поясов пространственных блоков, с завода поступают в комплекте с элементами продольных и поперечных вертикальных связей, которые, как указано в п. 2.2 настоящих рекомендаций, могут быть выполнены либо в виде ферм заводского изготовления, либо поэлементно (россыпь).

2.21. Монтажные работы для обоих рассматриваемых случаев компоновки конструкций аналогичны и разбиваются на четыре этапа.

2.21.1. На первом этапе из панелей и элементов продольных и поперечных вертикальных ферм собирается пространственный блок-панель проектной высоты и конфигурации с габаритами в плане, соответствующими габаритам панели (п. 2.1, см. рис. 2).

Сборка блок-панелей производится на стапеле, в случае выполнения вертикальных связей в виде ферм, или в специальном кондукторе, в случае выполнения вертикальных связей поэлементно (россыпь).

2.21.2. На втором этапе на стапелях производится укрупнительная сборка монтажного блока из готовых блок-панелей. Длина монтажного блока обычно соответствует пролету здания, а ширина равна ширине панели или ширине нескольких панелей, в зависимости от грузоподъемности монтажных механизмов.

2.21.3. На третьем этапе осуществляется подъем и установка монтажного блока в проектное положение непосредственно с помощью кранов или, если здание имеет значительную высоту и протяженность, методом надвижки.

2.21.4. Четвертый этап монтажа конструкции заключается в перекрытии стыковыми накладками продольных стыков между установленными монтажными блоками.

Кроме того, на этом этапе оформляются стыки между вертикальными поперечными связями отдельных блоков в том случае, когда требуется создать сплошные распределяющие фермы поперечных связей покрытия.

2.22. В приложении № I настоящих рекомендаций приведен пример конструирования, заводского изготовления и монтажа большепролетного покрытия рассматриваемого типа.

### Г. Заводские соединения

2.23. Каркас панелей сварной, сварка полуавтоматическая или ручная дуговая.

2.24. Прикрепление тонколистовой обшивки к различным элементам каркаса панели:

- к продольным элементам каркаса - сплошными швами внахлестку автоматической под флюсом, полуавтоматической в среде защитного газа или ручной дуговой сваркой, либо электровакелками;

- к поперечным элементам каркаса и к элементам торцевых ферм - шпоночными швами полуавтоматической, в среде защитного газа, или ручной дуговой сваркой, либо электрзащелками.

2.25. Стыковка полотен и тонколистовой обшивки между собой в процессе образования технологической карты:

- продольные стыки полотен могут выполняться автоматической под флюсом, полуавтоматической в среде защитного газа или ручной дуговой сваркой, сплошными или шпоночными швами, внахлест или встык на остающейся подкладке либо электрзащелками;

- поперечные стыки должны выполняться автоматической под флюсом, полуавтоматической в среде защитного газа или ручной дуговой сваркой сплошными швами внахлест или встык на остающейся подкладке.

### Д. Монтажные соединения

2.26. Прикрепление элементов продольной вертикальной решетки или поясов продольных ферм заводского изготовления к продольным элементам каркаса панелей осуществляется либо на высокопрочных болтах, либо на несущих высокопрочных болтах (см.рис. 4). Возможно также применение сварных соединений, но этот вид соединений в условиях монтажной площадки более трудоемкий.

2.27. Стыки продольных элементов каркаса панелей; на накладках сварные (рис. 8а) или на высокопрочных болтах.

2.28. Поперечные стыки обшивки между панелями сварные, с нащельниками, привариваемыми сплошными или шпоночными швами к полкам

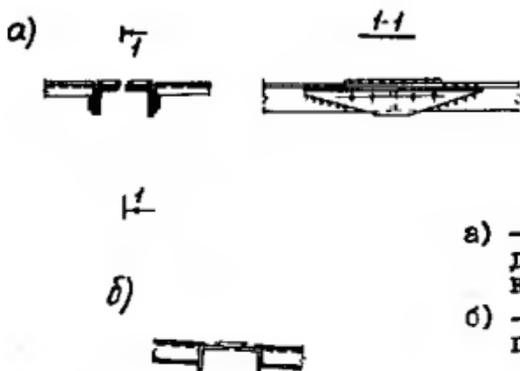


Рис. 8.

- а) - сварной стык продольных элементов каркаса панелей;  
 б) - поперечный стык панелей

торцевых элементов каркаса панели (рис. 8б). Вместо нащельника может быть осуществлен напуск обшивки с одной панели на торцевой элемент каркаса следующей панели.

2.29. Продольные стыки между соседними блоками покрытия сварные с нащельниками, привариваемыми к полкам продольных элементов каркаса панелей сплошными или шпоночными швами (см. рис. 8б).

**Примечание:** В случае необходимости обеспечения герметичности заводских и монтажных соединений обшивки последние осуществляются сварными сплошными швами с обязательной проверкой плотности швов.

### 3. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

3.1. Защита от коррозии стальных несущих и ограждающих конструкций рассматриваемого типа производится в соответствии с главой СНиП II-28-73<sup>х</sup> "Защита строительных конструкций от коррозии", в зависимости от степени агрессивного воздействия среды.

3.2. Конструкции с тонколистовыми предварительно напряженными обшивками могут применяться для зданий и сооружений, находящихся в неагрессивной, слабоагрессивной и среднеагрессивной средах. Применение таких конструкций в сильноагрессивной среде не допускается.

3.3. При применении конструкций с тонколистовой обшивкой в среднеагрессивных средах необходимо осуществлять сплошные плотные двусторонние электросварные швы как для прикрепления обшивки к элементам каркаса, так и для стыков полотен обшивки между собой (рис. 9). Применение электроваклепок, прерывистых и односторонних сварных швов в этом случае не допускается.

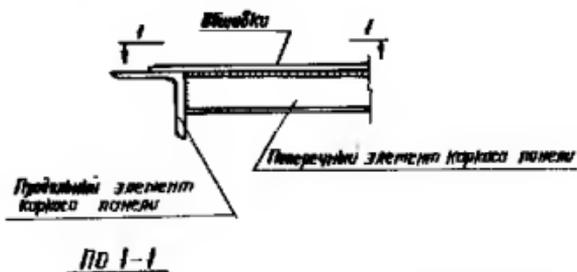


Рис. 9. Прикрепления обшивки к элементам каркаса в условиях применения в среднеагрессивных средах

3.4. В соответствии со СНиП П-28-73<sup>X</sup> табл. 40<sup>X</sup> в неагрессивных и слабоагрессивных средах рекомендуется применять для тонколистовых обшивок оцинкованную сталь (по ГОСТ 14918-80) и сталь марки ЮХНДП (ЮХДП). Защита от коррозии поверхностей из стали марки ЮХНДП (ЮХДП), находящихся на открытом воздухе, не производится (см. табл. I).

В неагрессивных и слабоагрессивных средах для тонколистовых обшивок допускается также применять низколегированную или углеродистую сталь с лакокрасочными покрытиями групп II и III.

В среднеагрессивных средах для тонколистовых обшивок следует применять холоднокатаную или травленую горячекатаную сталь как марки ЮХНДП (ЮХДП), так и низколегированную или углеродистую сталь других марок при толщинах не менее 1,5 мм с обязательной последующей окраской лакокрасочными материалами групп II и III.

3.5. Поверхности конструкций каркаса перед нанесением защитных покрытий не должны иметь заусенцев, острых кромок (радиусы менее 0,3 мм), сварочных брызг, наплывов, прокогов, остатков флюса

3.6. Проведение противокоррозионной защиты конструкций каркаса предполагает очистку поверхности металла от окислов, жировых загрязнений, нанесение защитных металлических или лакокрасочных покрытий.

3.7. Порядок и место подготовки поверхностей и оштукатуривания элементов каркаса и тонколистовой обшивки устанавливается в соответствии с табл. I.

Порядок и место проведения операций подготовки поверхности, грунтования и окраски конструкций

Степень агрессивного воздействия среды	Элементы каркаса из углеродистой и низколегированной стали	Тонколистовая обшивка				нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже
		из углеродистой и низколегированной стали	из оцинкованной стали по ГОСТ 14918-80	панельное исполнение	панельное исполнение			
А	из углеродистой и низколегированной стали	панельное исполнение	нагрузка на монтаже	из оцинкованной стали по ГОСТ 14918-80	панельное исполнение	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже
А	из углеродистой и низколегированной стали	панельное исполнение	нагрузка на монтаже	из оцинкованной стали по ГОСТ 14918-80	панельное исполнение	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже
А	из углеродистой и низколегированной стали	панельное исполнение	нагрузка на монтаже	из оцинкованной стали по ГОСТ 14918-80	панельное исполнение	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже	нагрузка на монтаже

Примечание: А - подготовка поверхности и грунтовка конструкций производится на ЗМК.  
 Б - подготовка поверхности и грунтовка конструкций производится на монтаже.  
 В - защита от коррозии не производится.  
 Г - применение не допускается.  
 И - только поверхности, обращенные внутрь помещения; защита от коррозии производится на открытом воздухе, не производится.  
 КХ - только холоднокатаная или травленая горячекатаная сталь

3.8. На монтажной площадке во всех случаях должно производиться обезжиривание и огрунтовка в необходимых местах поверхности металла; зачистка, обезжиривание и огрунтовка сварных монтажных швов после укрупнительной сборки и монтажа конструкций; нанесение необходимого количества слоев эмали, краски, лака.

3.9. Монтажные соединения на высокопрочных болтах и на сварке должны защищаться лакокрасочными покрытиями после монтажа конструкций. До монтажа допускается огрунтовка мест монтажной сварки в один слой. Металлизация этих соединений также допускается только после монтажа конструкций.

#### 4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ С ТОНКОЛИСТОВЫМИ ОБШИВКАМИ

##### 4.1. Основные положения

4.1.1. Статический расчет конструкций рассматриваемого типа, как обычно, начинается с выбора расчетной схемы и определения методами строительной механики расчетных усилий, т.е. изгибающих моментов, нормальных и поперечных сил в соответствующих сечениях конструкции.

4.1.2. Прогнбы блоков покрытия определяются от нормативных нагрузок с учетом включения обшивки панелей в рабочее сечение поясов в соответствии с указаниями раздела 4.3 (см. формулу 4.1).

4.1.3. Нормальные силы в поясах блока, вычисленные в результате статического расчета конструкции в целом, воспринимаются панелями; поперечные силы - элементами решетки несущих продольных ферм.

4.1.4. Расчет монтажных соединений панелей между собой по длине блока покрытия производится в соответствии с разделом 9 СНиП П-23-81 на нормальные силы в поясах блока, вычисленные в результате статического расчета конструкции в целом.

4.1.5. Расчетные длины и радиусы инерции сечений при определении гибкости элементов решетки несущих продольных ферм из одиночных уголков следует принимать в соответствии с п.6.5 СНиП П-23-81 для пространственных решетчатых конструкций с совмещенными в смежных гранях узлами.

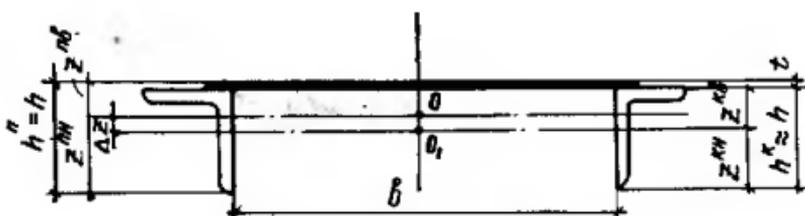


Рис.10. Расчетная схема сечения панели

т.О — центр тяжести сечения панели в целом;

т.О<sub>1</sub> — центр тяжести сечения продольных элементов каркаса панели

4.1.6. Расчет панелей производится в соответствии с пп. 4.2-4.9 настоящего раздела.

4.2. Основные условные обозначения, принятые для расчета панелей.

Обозначения усилий и геометрических характеристик приведены на полную ширину панели.

4.2.1. Геометрические характеристики

Расчетная схема сечения панели изображена на рис.10. Кроме указанных на рис.10, приняты следующие основные обозначения:

$A^o$ ,  $A^k$ ,  $A^n$  — площадь поперечного сечения обшивки, продольных элементов каркаса и панели в целом, соответственно;

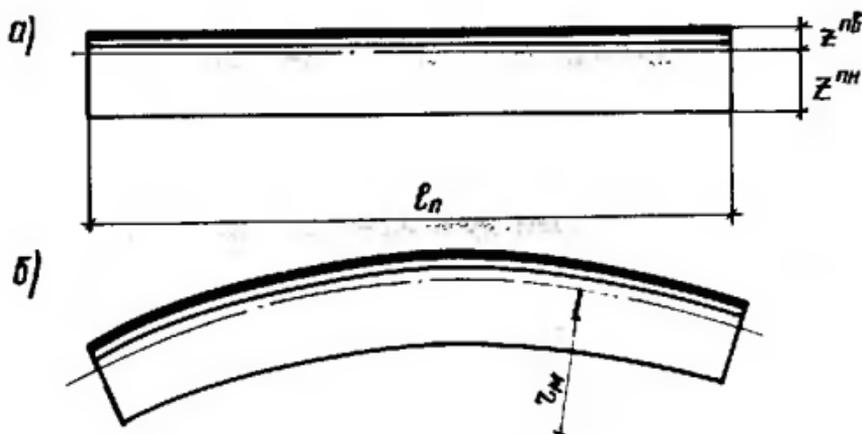


Рис.11. Схема выгиба панели в процессе монтажа

- $\gamma^k, \gamma^k, W^{k(b,n)}, W^{n(b,k)}, J^k, J^k$  - коэффициент условий работы обшивки;  
 моменты инерции, моменты сопротивления верхней и нижней фибр, радиусы инерции сечения продольных элементов каркаса и панели в целом, соответственно;
- $\bar{\gamma}^k, \bar{W}^k, \bar{A}^k$  - момент инерции, момент сопротивления к площадь сечения каждого из продольных элементов каркаса панели;
- $a$  - шаг поперечных элементов каркаса панели;
- $b$  - ширина обшивки панели в свету между продольными элементами каркаса панели;
- $c$  - расстояние между узлами прикрепления раскосов вертикальных ферм блоков к продольным элементам каркаса панели;
- $l_k, l_n$  - длина продольных элементов каркаса панели до осуществления предварительного напряжения и длина готовой панели, соответственно.

#### 4.2.2. Усилия и напряжения.

- $N$  - нормальная сила в панели, полученная в результате статического расчета конструкции в целом;
- $S$  - сила натяжения обшивки в процессе изготовления панели;
- $H$  - распор в мембране при расчете обшивки на местные нагрузки;
- $\bar{N}_n^k, \bar{M}_n^{kxy}$  - суммарные местные нормальные силы и изгибающие моменты соответственно, в каждом из продольных элементов каркаса панели;
- $R_y^k, R_y^o$  - расчетные сопротивления материала продольных элементов каркаса и обшивки панели, соответственно;
- $\sigma_n^o, \sigma_n^k$  - напряжения растяжения или сжатия, вызванные нормальной силой  $N$  в обшивке и в продольных элементах каркаса панели, соответственно;

$\sigma_n^o, \sigma_n^{\kappa(\delta, n)}$  - предварительные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса панели, соответственно, получаемые в процессе заводского изготовления панели;

$\sigma_{mn}^o, \sigma_{mn}^{\kappa(\delta, n)}$  - предварительные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса панели, соответственно, получаемые в процессе монтажа панелей;

$\bar{\sigma}_n^o, \bar{\sigma}_n^{\kappa(\delta, n)}$  - суммарные предварительные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса, соответственно;

$\sigma_n^o(1, 2, \dots, n), \sigma_n^{\kappa(\delta, n)}(1, 2, \dots, n)$  - местные напряжения от каждого из различных факторов в обшивке и в продольных элементах каркаса, соответственно;

$\bar{\sigma}_n^o, \bar{\sigma}_n^{\kappa(\delta, n)}$  - суммарные местные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса, соответственно.

#### 4.2.3. Радиусы изгиба элементов панели в процессе предварительного напряжения.

$\gamma$  - фактический радиусгиба продольных элементов каркаса в процессе заводского изготовления панели;

$\gamma_n$  - фактический радиусгиба готовой панели в процессе монтажа;

$\bar{\gamma}$  - радиусгиба продольных элементов каркаса в процессе заводского изготовления панели, соответствующий максимально возможному предварительному напряжению в обшивке;

$\bar{\gamma}$  - радиусгиба продольных элементов каркаса в процессе заводского изготовления панели, соответствующий минимально необходимому предварительному напряжению в обшивке;

$\gamma_{min}$  - минимально возможный радиусгиба продольных элементов каркаса панели в процессе заводского изготовления панели.

#### 4.3. Предварительный расчет панелей

4.3.1. Конструктивная компоновка каркаса панелей производится с учетом архитектурно-строительного задания и в соответствии с указаниями разделов I, 2, 3 настоящих рекомендаций.

4.3.2. В состав расчетного сечения панели вводится сечение продольных элементов каркаса и часть сечения обшивки:

$$A^k = A^k + K_y A^o, \quad (4.1)$$

где:  $K_y = 0,85$  для растянутых панелей;

$K_y = 1$  для сжатых панелей.

4.3.3. Для сжатых панелей предварительный подбор сечения продольных элементов каркаса производится исходя из предположения, что в предельном состоянии предварительное растяжение обшивки исчерпано, последняя выключается из работы и все расчетное усилие воспринимается продольными элементами каркаса. При этом усилия предварительного растяжения в продольных элементах каркаса полагаются равными нулю, но учитываются суммарные местные напряжения  $\bar{\sigma}_m^k$ .

Тогда требуемая величина площади продольных элементов каркаса панели:

$$A^k = \frac{N}{R_y^k - \bar{\sigma}_m^k}. \quad (4.2)$$

В первом приближении для сжатых панелей может быть принято:  $\bar{\sigma}_m^k = 0,3 R^k$ .

4.3.4. Для растянутых панелей предварительный подбор сечений продольных элементов каркаса производится с учетом совместной работы каркаса и обшивки. При этом учитываются возможные местные напряжения  $\bar{\sigma}_m^k$ ,  $\bar{\sigma}_n^o$  и конструктивное предварительное напряжение в обшивке  $\bar{\sigma}_n^o$ . Конструктивное предварительное напряжение в продольных элементах каркаса  $\bar{\sigma}_n^k$  в запас надежности не учитывается. В обшивке допускается развитие пластических деформаций.

Требуемая величина площади продольных элементов каркаса растянутой панели вычисляется в соответствии с (4.3)

$$\text{при } R_y^o \leq R_y^k - \bar{\sigma}_n^k :$$

$$A^k = \frac{N - (R_y^o - \bar{\sigma}_n^o - \bar{\sigma}_n^o) \cdot (K_y \cdot A^o)}{R_y^k - \bar{\sigma}_n^k}$$

$$\text{при } R_y^o > R_y^k - \bar{\sigma}_n^k :$$

$$A^k = \frac{N - [(R_y^k - \bar{\sigma}_n^k) - \bar{\sigma}_n^o - \bar{\sigma}_n^o] \cdot (K_y \cdot A^o)}{R_y^k - \bar{\sigma}_n^k}$$

(4.3а,б)

В первом приближении для растянутых нижних панелей блока может быть принято:  $\bar{\sigma}_n^{\circ} < 300 \text{ кгс/см}^2$ ;  $\bar{\sigma}_n^k < 0,15 R_y^k$ ;  $\sigma_n^{\circ} = 100-300 \text{ кгс/см}^2$ ;  $R_y^{\circ}$  условно принимается как для листовой стали толщиной 4 мм, так как для листовой стали толщиной меньше 4 мм величина  $R_y^{\circ}$  не определена нормативными документами.

4.3.5. Для расчетного сечения панелей рассматриваемого типа выполняются следующие геометрические соотношения (рис.1D):

$$\bar{z}^{kb} < \bar{z}^{kn}; \quad h^k = h^b = h;$$

$$K_o = \frac{A^{\circ}}{A^n}; \quad A^n = \frac{1}{K_o} A^{\circ}; \quad A^k = \frac{1-K_o}{K_o} A^{\circ}; \quad (4.4a, б, в, г, д, е)$$

$$\Delta \bar{z} = K_o \bar{z}^{kb}; \quad \bar{z}^{nb} = \bar{z}^{kb} (1-K_o); \quad \beta^k = \sqrt{\frac{y^k}{A^k}}$$

4.4. Определение усилий предварительного напряжения в элементах панелей на стадиях заводского изготовления и монтажа.

А. Общие положения

4.4.1. В общем случае предварительное напряжение панели производится в два этапа:

1) - в процессе заводского изготовления панели;

2) - в процессе монтажа конструкции.

Суммарные предварительные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса, соответственно, определяются по формулам:

$$\bar{\sigma}_n^{\circ} = \sigma_n^{\circ} + \sigma_{nn}^{\circ}, \quad (4.5a)$$

$$\bar{\sigma}_n^k = \sigma_n^k + \sigma_{nn}^k. \quad (4.5б)$$

4.4.2. Для растянутых панелей величина  $\bar{\sigma}_n^{\circ}$  назначается из конструктивных соображений. Для сжатых панелей должно выполняться условие:  $\bar{\sigma}_n^{\circ} \geq \bar{\sigma}_{n \min}^{\circ}$ , где  $\bar{\sigma}_{n \min}^{\circ}$  - минимально необходимая величина полного предварительного напряжения обшивки, определяемая по формуле:

$$\bar{\sigma}_{n \min}^{\circ} = \frac{N}{A^k + K_y A^{\circ}} - \bar{\sigma}_n^{\circ}. \quad (4.6)$$

При  $\mu = \frac{\alpha}{\delta} \geq 0,5$  принимается  $\bar{\sigma}_n^{\circ} = 0$ , при  $\mu = \frac{\alpha}{\delta} < 0,5$  величина  $\bar{\sigma}_n^{\circ}$  определяется согласно указаниям п.4.5 настоящих Рекомендаций.

4.4.3. В соответствии с (4.5) величина предварительного напряжения в обшивке, которая должна быть получена в процессе заводского изготовления панели, определяется по формуле:

$$\sigma_n^0 = \bar{\sigma}_n^0 - \sigma_{nn}^0 \dots, \quad (4.7a)$$

причем для скатых панелей должно выполняться условие:

$$\sigma_n^0 \geq \sigma_{nmin}^0 = \bar{\sigma}_{nmin}^0 - \sigma_{nn}^0 \dots, \quad (4.7b)$$

где  $\sigma_{nmin}^0$  - минимально необходимая величина предварительного напряжения обшивки в процессе заводского изготовления панели;

$\bar{\sigma}_{nmin}^0$  - определяется в соответствии с (4.6);

$\sigma_{nn}^0$  - определяется в соответствии с п.Г настоящего раздела.

Если панель в проектном положении плоская, то  $\sigma_{nn}^0 = 0$ ; если панель имеет криволинейное очертание радиуса  $Z_n$ , то  $\sigma_{nn}^0$  вычисляется в соответствии с (4.19).

4.4.4. Основное условие, которое должно быть выполнено для скатых панелей, состоит в том, что растяжение в обшивке во всех случаях должно быть по абсолютной величине не менее расчетных сжимающих усилий, возникающих в объединенном сечении панели при ее работе в составе конструкции блока покрытия:

$$|\sigma_n^0| + |\sigma_{nn}^0| + |\bar{\sigma}_n^0| + |\sigma_n^0| \geq 0. \quad (4.8a)$$

Одновременно для продольных элементов каркаса должно выполняться условие:

$$|\sigma_n^k| + \sigma_{nn}^k + \bar{\sigma}_n^k + |\sigma_n^k| < R_y^k. \quad (4.8b)$$

В (4.8) напряжения  $\sigma_{nn}^k$  и  $\bar{\sigma}_n^k$  могут иметь как знак (+), так и знак (-), а  $\sigma_n^0 = \sigma_{nn}^0$ .

4.4.5. Условия (4.8 а,б) выполняются одновременно, если выполняется неравенство:

$$|\sigma_n^k| + |\sigma_n^0| < \bar{R}_y^k, \quad (4.9a)$$

$$\bar{R}_y^k = R_y^k - \bar{\sigma}_n^k - \sigma_{nn}^k - |\sigma_n^0| - |\sigma_{nn}^0|, \quad (4.9b)$$

где  $\bar{R}_y^k$  - условное расчетное сопротивление материала продольных элементов каркаса.

Удовлетворение неравенству (4.9а) является основным требованием при осуществлении предварительного напряжения панели.

4.4.6. Величины  $\bar{\sigma}_n$  и  $\bar{\sigma}_n^k$  зависят от конструктивного оформления панелей и вычисляются независимо в соответствии с указаниями раздела 4.5. Величины  $\bar{\sigma}_{nn}^{ок}$  вычисляются в соответствии с указаниями п.Г настоящего раздела.

Величины  $\bar{\sigma}_n^k$  и  $\bar{\sigma}_n$  зависят от избранного способа натяжения обшивки на каркас панели и вычисляются в соответствии с указаниями пп. Б, В настоящего раздела.

Б. Вычисление окончательных усилий предварительного напряжения в элементах скатых панелей после их заводского изготовления

4.4.7. В соответствии с указаниями пп. 2.15-2.19 натяжение обшивки на каркас панели осуществляется либо методом "прямого натяжения", либо методом "тетива".

4.4.8. Расчетные формулы для определения напряженного состояния плоских панелей с односторонней обшивкой, изготовленных в соответствии с рассмотренными способами, сведены в табл. 2.

4.4.9. Методика расчета:

1) Исходя из общего расчета конструкции с учетом конструктивных ограничений, задаются сечения продольных элементов каркаса и обшивки панели (см. раздел 4.3).

2) Задается величина приведенного расчетного сопротивления материала каркаса  $R_y$ . В первом приближении может быть принято:  $R_y^k \approx 0,7 \cdot R_y^k$ . При поверочных расчетах  $R_y^k$  вычисляется в соответствии с (4.9б) - см. пп. 4.4.5, 4.4.6.

3) Вычисляется требуемая величина  $\bar{\sigma}_{min}$  в соответствии с (4.7).

4) Определяются требуемые условия изготовления панели, т.е. по формулам табл. 2 в соответствии с принятым способом изготовления вычисляются: либо максимальная возможная и минимально необходимая силы натяжения  $S_{max}$ ,  $S_{min}$  либо радиусыгиба продольных элементов каркаса  $\bar{\rho}$ ,  $\bar{\rho}$ .

5) Назначаются фактические величины: силы натяжения  $S$  ( $S_{min} \leq S \leq S_{max}$ ) для метода "прямого натяжения"; радиусагиба  $\rho$  ( $\rho_{min} \leq \rho \leq \bar{\rho}$ ) для метода "тетива".

6) Вычисляются значения  $\sigma_n^0 \geq \sigma_{n.min}^0$ ,  $\sigma_n^{x, \text{вн}}$  по формулам табл. 2 в зависимости от принятого способа изготовления панели и фактически принятых величин  $S$  или  $\tau$ .

7) В случае необходимости производится поверочный расчет панели на каждом этапе изготовления по фактически принятым  $\tau$ ,  $S$  в соответствии с формулами, приведенными в пп. 4.4.10, 4.4.11 данного раздела.

8) Пример расчета сжатых панелей на стадии заводского изготовления приведен в приложении 2.

**В. Вычисление промежуточных усилий предварительного напряжения в элементах сжатых панелей в процессе их заводского изготовления на каждой стадии изготовления**

**4.4.10. Расчет панелей в процессе их заводского изготовления методом "прямого натяжения обшивки на каркас панели".**

1) На плоском кондукторе закрепляется каркас панели. По каркасу укладывается тонколистовая обшивка, закрепляется на одном торце каркаса и за второй, свободный край, вытягивается силой  $S$  с помощью домкратов до расчетного напряжения  $\sigma_n^0$  (см. рис. 6), после чего обшивка полностью прикрепляется к каркасу.

$$\sigma_n^0 = \frac{S}{A^k}; \quad \sigma_n^{x, \text{вн}} = \frac{S}{A^k} = -\sigma_n^0 \frac{K_0}{1-K_0} \quad (4.10 \text{ а, б})$$

Длина каркаса готовой панели  $l_n = l_k (1 - \frac{\sigma_n^0}{E})$ .

2) Минимально необходимая  $S_{min}$  и максимально возможная  $S_{max}$  силы натяжения обшивки вычисляются по формулам:

$$S_{min} = \sigma_{n.min}^0 A^k; \quad S_{max} = R_y^k A^k (1 - K_0) \quad (4.11 \text{ а, б})$$

$$S_{min} \leq S \leq S_{max}$$

**4.4.11. Расчет панелей в процессе их заводского изготовления методом "тетива".** Схема последовательности операций изображена на рис. 7.

1) Изготавливается плоский каркас. При этом напряжения в каркасе  $\sigma_1^k = 0$ , длина каркаса  $l_k$ .

2) Каркас упруго выгибается на жестком стенде до радиуса " $\tau$ " и закрепляется в этом положении.

Таблица 2

Таблица для вычисления усилий предварительного напряжения в элементах плоских панелей с односторонней обшивкой после заводского изготовления в зависимости от способа натяжения обшивки

	Метод "прямого натяжения обшивки"		Метод "тетива"		
$z_{min}$ [см]	—		$\frac{E}{R_y} \cdot z^{KH}$		
$\bar{z}$ [см]	—		из уравнения: $\bar{z}^2 + \bar{p}\bar{z} + \bar{q} = 0$		
$\bar{z}$ [см]	—		из уравнения: $\bar{z}^2 + \bar{p}\bar{z} + \bar{q} = 0$		
$S_{max}$ [кг]	$\bar{R}_y \cdot A^\circ \cdot (1 - K_0)$		—		
$S_{min}$ [кг]	$\sigma_{nmin}^\circ \cdot A^\circ$		—		
если	$S_{min} \leq S < S_{max}$		$S = S_{max}$		$\bar{z} < z_{min} \leq \bar{z}$
	или				$\bar{z} \geq z_{min}$
$z$ [см]; $S$ [кг]			или		
	$S = S_{min}$	$S_{min} < S < S_{max}$	$S = S_{max}$	$z = \bar{z}$	$z_{min} \leq z < \bar{z}$
$\sigma_n^\circ$ [ $\frac{кг}{см^2}$ ]	$\sigma_{nmin}^\circ$	$\frac{S}{A^\circ}$	$\sigma_{nmax}^\circ = \bar{R}_y \cdot (1 - K_0)$	$\sigma_{nmin}^\circ$	$K_s \cdot (1 - K_0)$
$\sigma_{nmax}^\circ$ [ $\frac{кг}{см^2}$ ]			$-\sigma_n^\circ \cdot \frac{K_0}{1 - K_0}$		
$l_n$ [мм]			$l_n \cdot (1 - \frac{\sigma_n^\circ}{E})$		
коэффициенты	$K_0 = \frac{A^\circ}{A^n}$ ;		$\bar{p} = -\frac{E}{R_y} \cdot z^{KH}$ [см]; $\bar{q} = -\frac{E}{R_y} \cdot \frac{l_n^2}{24}$ [см <sup>2</sup> ]		
	$K_s = \frac{E \cdot l_n^2}{24 \cdot z^{KH}} \cdot [1 + \frac{24 \cdot z \cdot z^{KH}}{l_n^2}]$ [ $\frac{кг}{см^2}$ ];		$\bar{p} = -\frac{E}{\sigma_{nmin}^\circ} \cdot z^{KH} \cdot (1 - K_0)$ [см]; $\bar{q} = -\frac{E}{\sigma_{nmin}^\circ} \cdot \frac{l_n^2}{24} \cdot (1 - K_0)$ [см <sup>2</sup> ].		

При этом в каркасе возникают напряжения чистого изгиба:

$$\sigma_2^{k, \lambda, n} = \pm E \frac{z^{k, \lambda, n}}{z} \quad (4.12)$$

3) По торцам верхних фибр каркаса закрепляется обшивка в горизонтальном прямолинейном положении. При этом напряжения в каркасе остаются неизменными, т.е.  $\sigma_3^{k, \lambda, n} = 0$ ; напряжения в обшивке  $\sigma_3^o = 0$ ;  $l_0$  - длина обшивки.

4) Каркас освобождается от закрепления и принудительно распрямляется до плоского состояния, вытягивая обшивку, как тетиву.

При этом на обшивку действует растягивающая сила  $S$ , а на каркас - реактивная сжимающая сила  $-S$ , которая приложена в уровне верхней фибры каркаса (см. рис. 7,4). В обшивке появляются напряжения растяжения  $\sigma_4^o$ , а в каркасе - напряжения сжатия с изгибом  $\sigma_4^{k, \lambda, n}$ :

$$\sigma_4^o = \frac{S}{A}; \quad \sigma_4^{k, \lambda, n} = \pm E \frac{z^{k, \lambda, n}}{z} - \frac{S}{A z} \quad (4.13 \text{ а, б})$$

Длины обшивки и каркаса становятся одинаковыми и равными длине панели  $l_n$

$$l_n = l_k - \Delta l_k = l_0 + \Delta l_0.$$

5) Обшивка полностью прикрепляется к каркасу.

При этом напряжения в обшивке и в каркасе не меняются, т.е.  $\sigma_5^o = \sigma_4^{k, \lambda, n}$ , а центр тяжести объединенного сечения смещается относительно центра тяжести каркаса на величину  $\Delta z$  (см. рис. 7,5).

6) Полное напряженное состояние плоской панели и длина панели после изготовления определяются выражениями (4.14 а, б, в)

$$\sigma_n^o = \sigma_3^o + \sigma_4^o + \sigma_5^o = \frac{S}{A z}; \quad (4.14 \text{ а})$$

$$\sigma_n^{k, \lambda, n} = \sigma_2^{k, \lambda, n} + \sigma_3^{k, \lambda, n} + \sigma_4^{k, \lambda, n} = -\frac{S}{A z} = -\sigma_n^o \frac{K_0}{1 - K_0}; \quad (4.14 \text{ б})$$

$$l_n = l_k \left(1 - \frac{\sigma_n^k}{E}\right), \quad (4.14 \text{ в})$$

где  $S$  определяется из выражения:

$$S = \frac{E l_k^2}{24 z^2} \left(1 + \frac{24 z z^{k, \lambda, n}}{l_k^2}\right) A^o (1 - K_0). \quad (4.15)$$

7) Максимально возможные по методу "тетива" предварительные напряжения в обшивке и соответствующие напряжения в каркасе плоской панели

$$\sigma_{nmax}^0 = \bar{R}^k (1 - \mathcal{K}_0); \quad (4.16a)$$

$$\sigma_n^{k,0,k} = -\bar{R}^k \mathcal{K}_0. \quad (4.16b)$$

8) Радиусы выгиба каркаса панели  $\bar{z}$  и  $\bar{z}$ , требуемые для получения соответственно минимальных необходимых  $\sigma_{nmin}^0$  и максимально возможных  $\sigma_{nmax}^0$  предварительных напряжений в обшивке по методу "тетива", определяются из канонических квадратных уравнений:

$$\bar{z}^2 + \bar{p}\bar{z} + \bar{q} = 0, \quad (4.17a)$$

$$\bar{z}^2 + \bar{p}\bar{z} + \bar{q} = 0, \quad (4.17b)$$

где 
$$\bar{p} = -\frac{E}{\sigma_{nmin}^0} \cdot z^{kb} (1 - \mathcal{K}_0) \quad [см], \quad (4.17c)$$

$$\bar{q} = -\frac{E}{\sigma_{nmin}^0} \cdot \frac{l_n^2}{24} (1 - \mathcal{K}_0) \quad [см], \quad (4.17d)$$

$$\bar{p} = -\frac{E}{R_y^k} z^{kb} \quad [см], \quad (4.17e)$$

$$\bar{q} = -\frac{E}{R_y^k} \cdot \frac{l_n^2}{24} \quad [см]. \quad (4.17f)$$

9) Минимально возможный по условиям изготовления радиус выгиба каркаса  $z_{min}$

$$z_{min} = \frac{E}{R_y^k} z^{kb}. \quad (4.18)$$

10) Фактическая величина радиуса выгиба каркаса панели "z" должна назначаться из условия:  $z_{min} \leq z < \bar{z}$ . Если при этом величина  $\bar{z} > z_{min}$ , то можно назначать  $z = \bar{z}$ , что позволяет получить максимально возможные по методу "тетива" предварительные напряжения в обшивке  $\sigma_{nmax}^0$  (4.16).

## Г. Расчет панелей на стадии монтажа

4.4.12. Все вышеприведенные формулы напряжений табл. 2 действительны для готовой панели, которая считается плоской. На самом деле после съема с горизонтального стенда изготовленная любым из указанных способов панель упруго выгибается под воздействием неуравновешенных внутренних моментов таким образом, что верхние фибры панели получают дополнительное сжатие. Радиусы упругого выгиба и соответствующее напряженное состояние в готовой выгнутой панели могут быть вычислены для каждого из способов изготовления, однако в этом нет необходимости, так как жесткостные характеристики панели после ее изготовления остаются неизменными и все монтажные операции над панелью производятся в упругой стадии работы материала.

4.4.13. В проектном положении панель может иметь одну из трех конфигураций: плоскую, вогнутую (относительно обшивки) или выпуклую (относительно обшивки).

4.4.14. В тех случаях, когда продольные элементы каркаса панели в проектном положении имеют криволинейное очертание, в процессе монтажа производится выгиб панели до требуемого радиуса  $z_n$ . При этом нормальные напряжения в элементах панели вычисляются из условия, что выгиб панели производится из плоского состояния (см. рис. II).

$$\sigma_{nn}^0 = E \frac{z^{ns}}{z_n} (a); \quad \sigma_{nn}^{\kappa, \delta, \mu} = \pm E \frac{z^{ns, \kappa}}{z_n} (\delta). \quad (4.19)$$

4.4.15. Пример расчета панелей на стадии монтажа приведен в приложении 2.

4.5. Расчет тонколистовой обшивки панелей на местные нагрузки. Определение напряжений  $\bar{\sigma}_n$ .

### А. Общие положения

4.5.1. Кроме основных усилий от воздействия нормальных сил  $N$  на панель в целом, обшивки в рассматриваемых конструкциях одновременно воспринимают местную поперечную равномерно распределенную нагрузку, например, от кровли, снега и т.п.

4.5.2. Расчет обшивки на местные равномерно распределенные поперечные нагрузки производится после конструктивной компоновки и предварительного подбора сечения панели.

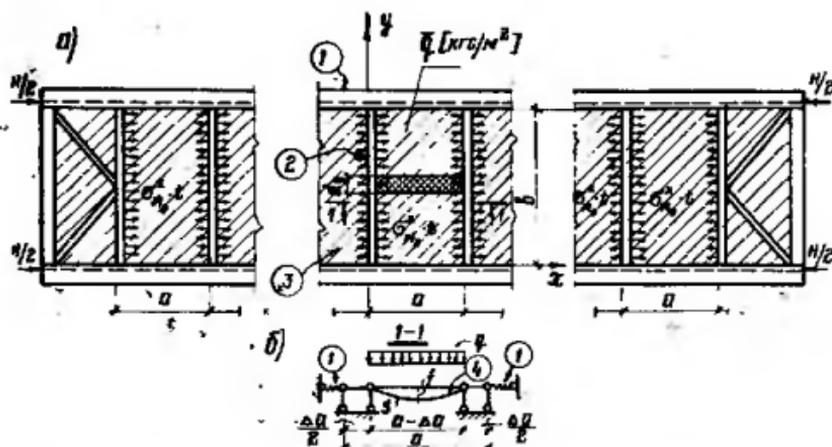


Рис. 12. Расчетная схема обшивки, работающей как гибкая нить ( $n \leq 0,5$ );

- 1 — продольные элементы каркаса панели;
- 2 — поперечные элементы каркаса панели;
- 3 — мембрана;
- 4 — линия прогибов мембраны с учетом горизонтального смещения опор, т.е. с учетом упругих продольных деформаций продольных элементов каркаса панелей

4.5.3. При выборе шага поперечных элементов каркаса панели следует учитывать, что мембранные усилия, растягивающие обшивку, одновременно вызывает дополнительное обжатие продольных элементов каркаса. Обычно отношение сторон расчетной ячейки обшивки  $n = \frac{a}{b}$  принимается в пределах:  $0,25 \leq n \leq 1,0$ .

4.5.4. При  $n \leq 0,5$  обшивка под воздействием поперечных нагрузок находится в одноосном напряженном состоянии и может быть рассчитана как гибкая нить (рис. 12).

При  $n > 0,5$  обшивка под воздействием поперечных нагрузок находится полностью или частично в двухосном напряженном состоянии и должна рассчитываться как прямоугольная мембрана (рис. 14), опертая на продольные и поперечные элементы каркаса панелей.

4.5.5. Прогибы предварительно напряженной обшивки определяются от нормативных временных нагрузок. Стрелка прогибов не должна превышать предельной величины  $\frac{1}{100} a$ .

## Б. Расчет обшивки как гибкой нити при $n \leq 0,5$ (рис. 12)

4.5.6. Расчет обшивки как гибкой нити с достаточной точностью может быть произведен при следующих предположениях:

- под воздействием равномерно распределенной нагрузки "  $q$  " обшивка работает на пролете между поперечными элементами каркаса и находится в одноосном напряженном состоянии, т.е.  $\sigma_{xy} = 0$ ;
- обшивка загружена равномерно по всей длине панели, так что распорные силы в каждой двух соседних ячейках оказываются одинаковыми (рис. 12а) и поперечные элементы каркаса панели работают только на вертикальные реакции от нагрузки  $q$  и не изгибаются в плоскости обшивки;
- распорные силы обшивки  $H$  передаются на продольные элементы каркаса панели в торцах конструкции и сжимают продольные элементы каркаса (рис. 12а).

Расчет обшивки должен производиться с учетом обжатия продольных элементов каркаса, т.е. расчетной схемой обшивки является гибкая нить на упруго сдвигающихся в горизонтальном направлении опорах (рис. 12б);

- предварительное напряжение обшивки считается полностью исчерпанным;
- прогибы обшивки малы, так что кривая прогибов обшивки под расчетной нагрузкой пологая.

4.5.7. Для расчета мембраны как гибкой нити введем следующие дополнительные обозначения (рис. 12б):

"  $a$  " - расчетный пролет нити (шаг поперечных элементов каркаса панели); "  $\Delta a$  " - величина упругой деформации продольных элементов каркаса панели на участке между поперечными; "  $f$  " - стрелка прогиба нити под воздействием равномерно распределенной погонной нагрузки "  $q$  " с учетом вытяжки нити и горизонтального смещения опор "  $\frac{\Delta a}{2} q$  ";  $\Delta L$  - вытяжка нити под воздействием нагрузки "  $q$  ";  $L$  - длина нити после ее вытяжки на величину "  $\Delta L$  ";  $H$  - распор в нити от нагрузки "  $q$  " при стрелке прогиба нити "  $f$  " .

4.5.8. Распор "  $H$  " получим из выражения:

$$H = \sqrt[3]{\frac{q \cdot a^2 \cdot EA^2 A^2}{24(A^2 + A^2)}} \dots \dots \quad (4.20)$$

Соответствующие напряжения в обшивке:

$$\sigma_n^{\alpha} = \frac{H}{A^{\alpha}} \dots \dots \dots (4.21)$$

Стрелка прогиба "  $f$  " определяется от нормативной временной нагрузки  $q_{вр}^n$  по формуле:

$$f = \frac{q_{вр}^n \cdot a^2}{8 \cdot H_{вр}^n} \cdot \left(1 - \frac{H_{вр}^n}{EA^n}\right)^2 \leq [f] \dots \dots, (4.22)$$

где  $H_{вр}^n$  - в запас надежности определяется в соответствии с (4.20) от нагрузки  $q_{вр}^n$  ;

$$[f] = \frac{1}{100} \cdot a \quad (\text{см. п. 4.5.5}).$$

4.5.9. Пример расчета обшивки на местные нагрузки при  $\mu \leq 0,5$  приведен в приложении 2.

#### В. Расчет обшивки как мембраны с прямолинейными кромками при $\mu > 0,5$ (рис. 13)

4.5.10. Прямолинейность продольных кромок обшивки в конструкциях рассматриваемого типа обеспечивается вследствие объединения продольных элементов каркаса панелей смежных блоков полосовыми нащельниками. В случае отсутствия раввязки продольных элементов каркаса панели в плоскости обшивки определение прогибов мембраны следует производить для расчетной схемы мембраны с искривляющимися продольными кромками. При этом напряжения  $\sigma_n^{\alpha}$ ,  $\sigma_n^y$  допустимо определять в расчетной схеме мембраны с прямолинейными кромками.

4.5.11. Задача решается при следующих предпосылках:

- мембрана и ребра контура работают в упругой области;
- ребра контура имеют конечную жесткость на сжатие и бесконечную жесткость на изгиб;
- величина натяжения мембраны исключает возможность появления сжимающих напряжений в продольном направлении.

Расчетная модель мембраны с прямолинейными кромками приведена на рис. 13а.

4.5.12. Ширина зоны двухосного растяжения не зависит от координаты "  $y$  " и равна  $Y_a$ , где  $Y$  - редуцированный коэффициент,

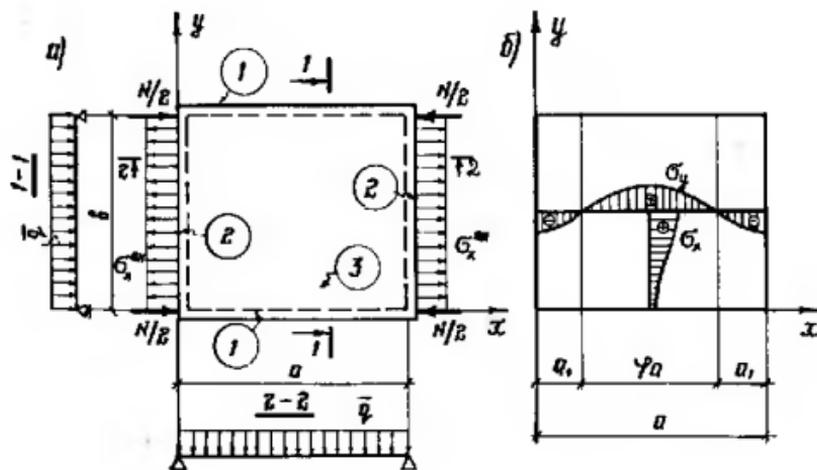


Рис. 13.

- а) - расчетная модель обшивки, работающей как мембрана, опёртая по четырем сторонам ( $\mu > 0,5$ )  
 1 - продольные элементы каркаса панели;  
 2 - поперечные элементы каркаса панели;  
 3 - мембрана.  
 б) - эпюра нормальных напряжений в мембране

который определяет относительную ширину зоны двухосного растяжения (рис. 13б):  $\gamma = 1 - \frac{2a_1}{a}$ .

Численное значение редуцированного коэффициента " $\gamma$ " определяется по номограмме рис. 14. Если найденное значение  $\gamma < 0$ , то принимается  $\gamma = 0$ , если найденное значение  $\gamma > 1$ , то принимается  $\gamma = 1$ .

На номограмме рис. 14 обозначено:

$$K = \frac{N}{A\sqrt{q^2 B^2 + Et}}; L_a = \frac{A^2}{A^2 + Bt}; L_b = \frac{A^2}{A^2 + at}. \quad (4.23 \text{ а, б, в})$$

4.5.13. В предельном состоянии системы предварительное натяжение мембраны полностью исчерпывается и краевые напряжения  $G^x = 0$ . При этом максимальные напряжения в центре мембраны определяются вы-

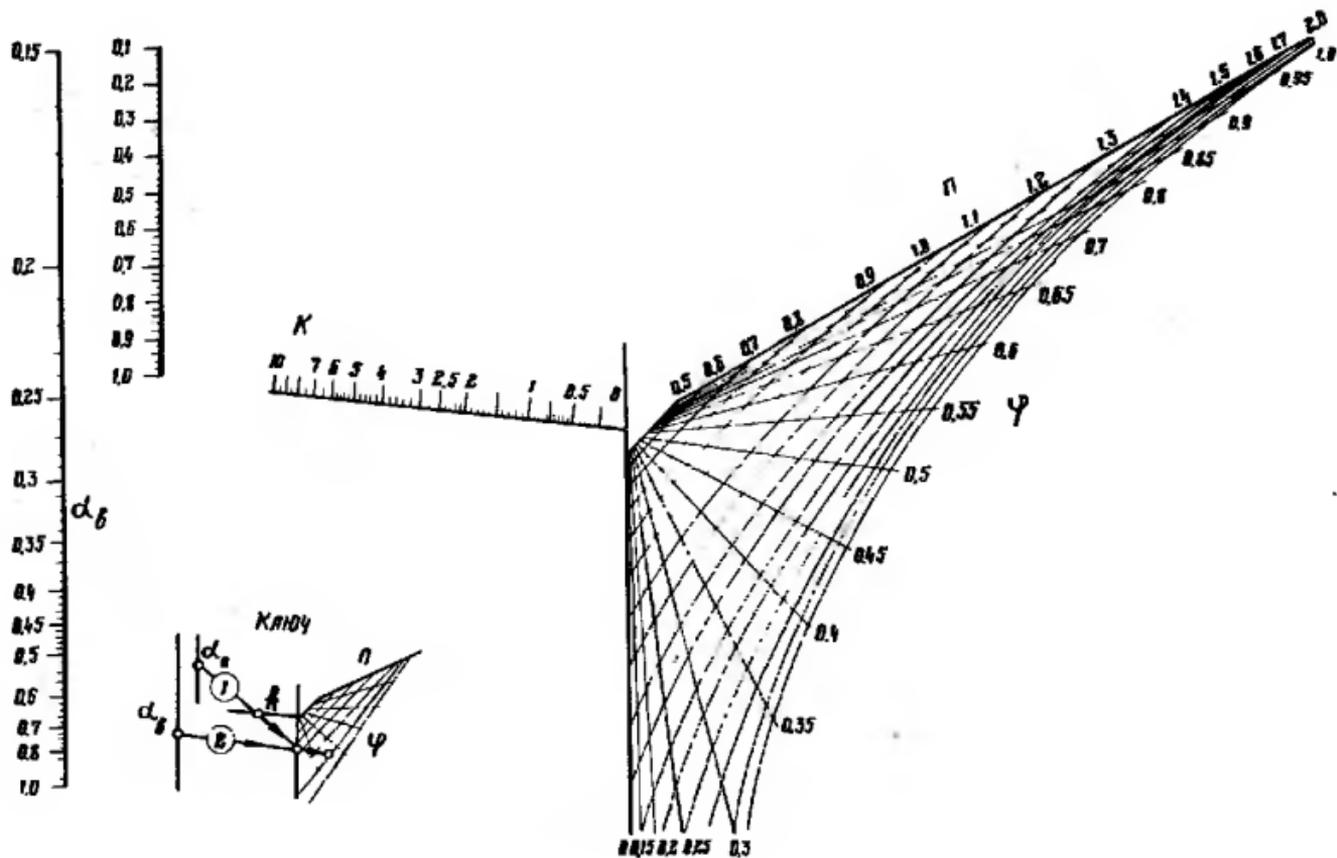


Рис. 14. Номограмма для определения редуционного коэффициента  $\psi$

ражениями (4.24 а, б):

$$\sigma_{нmax}^{ax} = 1,02 \sqrt[3]{\frac{\alpha^2 \cdot \bar{q}^2 \cdot E}{l^2 \cdot \bar{q}^2}}; \quad (4.24a)$$

$$\sigma_{нmax}^{ay} = 0,51 n^2 (1 - \cos \pi \gamma) \sqrt[3]{\frac{\alpha^2 \cdot \bar{q}^2 \cdot E}{l^2 \cdot \bar{q}^2}}; \quad (4.24б)$$

$$\xi = 3 + n^2 \left[ \gamma + \frac{2 \sin \pi \gamma}{\pi} + \frac{\sin 2 \pi \gamma}{2 \pi} - \left( \gamma + \frac{\sin \pi \gamma}{\pi} \right) \cdot 2 \cos \pi \gamma, \right. \\ \left. n = \frac{\alpha}{\delta} \approx 0,5 \quad 0 < \gamma < 1 \right]. \quad (4.24в)$$

Стрелка прогиба "f" определяется от нормативной временной нагрузки  $\bar{q}_{вр}^n$  по формуле:

$$f = 0,643 \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot \bar{q}_{вр}^n}{E \cdot l \cdot \bar{q}}} \leq [f], \quad (4.24)$$

где  $[f] = \frac{1}{200} \cdot \alpha$  (см. п. 4.5.5).

В (4.23), (4.24), кроме ранее оговоренных, приняты обозначения:  $\bar{q}$ ,  $\bar{q}_{вр}^n$  - интенсивность приложенной и верхней обшивки равномерно распределенной по площади расчетной и временной нормативной нагрузки, соответственно;  $A_s^e$  - суммарная площадь сечения поперечных элементов каркаса панели, ограничивающих расчетную ячейку.

4.5.14. Суммарные местные напряжения в обшивке  $\bar{\sigma}_n^o$  определяются следующим образом:

$$1) \text{ при } n \leq 0,5: \quad \bar{\sigma}_n^o = \sigma_{нmax}^{ax}, \quad (4.25)$$

где  $\sigma_{нmax}^{ax}$  вычисляется в соответствии с (4.21);

$$2) \text{ при } n > 0,5: \quad \bar{\sigma}_n^o = \sqrt{(\sigma_{нmax}^{ax})^2 + (\sigma_{нmax}^{ay})^2}, \quad (4.26)$$

где  $\sigma_{нmax}^{ax}$ ,  $\sigma_{нmax}^{ay}$  вычисляется в соответствии с (4.24).

4.5.15. Пример расчета обшивки на местные нагрузки как мембраны с прямоугольными кромками при  $n > 0,5$  приведен в приложении 2.

#### 4.6. Расчет продольных элементов каркаса панелей на местные нагрузки. Определение напряжений $\bar{\sigma}_n^k$

##### А. Общие положения

4.6.1. Местные напряжения  $\bar{\sigma}_n^k$  в продольных элементах каркаса панели определяются как сумма напряжений  $\bar{\sigma}_{ni}^k$  от одновременного воздействия тех из нижеперечисленных факторов, которые имеют место в конкретной конструкции.

$i$  - номер фактора, вызывающего напряжение  $\bar{\sigma}_{ni}^k$ , где  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

1) Обжатие каркаса продольными мембранными усилиями.

2) Изгиб продольных элементов каркаса в плоскости панели под воздействием поперечных мембранных усилий.

3) Изгиб продольных элементов каркаса из плоскости панели вследствие внеузлового опирания поперечных элементов либо вследствие непосредственного воздействия местной вертикальной нагрузки на обшивку при опирании поперечин в узлах продольных ферм и при  $n > 0,5$ .

4) Изгиб продольных элементов каркаса из плоскости панели вследствие эксцентричного прикрепления раскосов продольных ферм.

5) Изгиб продольных элементов каркаса в плоскости панели вследствие эксцентричного прикрепления раскосов вертикальных ферм блоков.

6) Изгиб продольных элементов каркаса из плоскости панели вследствие их кривизны между узлами решетки вертикальных ферм блоков.

##### Б. Обжатие каркаса продольными мембранными усилиями.

Определение напряжений  $\bar{\sigma}_n^k$

4.6.2. Продольные распорные силы обшивки передаются на продольные элементы каркаса панели в торцах конструкции в виде сосредоточенных сил  $\frac{H}{2}$  (см. рис. 12а):

$$H = \bar{\sigma}_n^k \cdot A^0. \quad (4.27)$$

4.6.3. Соответствующее напряжение в продольных элементах каркаса:

$$\sigma_{N\kappa} \approx -\frac{N}{A\kappa} \approx -\sigma_N^{\text{ок}} \frac{A^*}{A\kappa} = -\sigma_N^{\text{ок}} \frac{\kappa}{I\chi_0}. \quad (4.28)$$

При  $n \leq 0,5$   $\sigma_N^{\text{ок}}$  определяется из (4.21).

При  $n > 0,5$   $\sigma_N^{\text{ок}}$  в запас надежности определяется из (4.246).

В. Изгиб продольных элементов каркаса в плоскости панели под воздействием поперечных мембранных усилий.

Определение напряжений  $\sigma_{Nz}$

4.6.4. В тех случаях, когда продольные элементы каркаса не развязаны по всей длине в плоскости панели и при этом отношение сторон расчетной ячейки обшивки  $n > 0,5$ , продольные элементы каркаса работают на изгиб в плоскости панели под воздействием поперечных мембранных усилий.

4.6.5. Расчет продольных элементов в плоскости панели в запас надежности производится в соответствии с расчетной схемой на рис. 15 как многопролетной неразрезной балки, опертой на поперечные

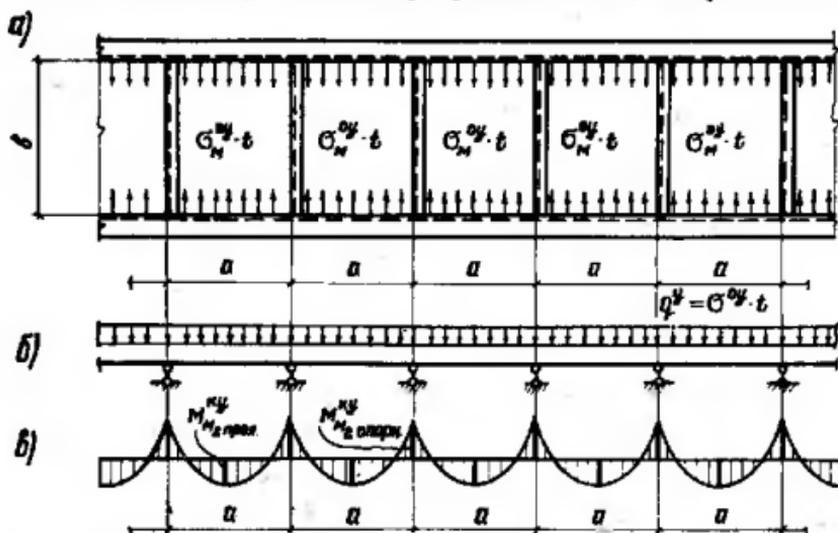


Рис. 15. Расчетная схема продольных элементов каркаса панелей при их работе на изгиб от поперечных мембранных усилий

а) - план;

б) - расчетная схема;

в) - эпюра моментов в плоскости панели

элементы и находящейся под воздействием равномерно распределенной нагрузки  $q^y$ :

$$q^y = \sigma_N^{xy} \cdot t, \quad (4.29)$$

$\sigma_N^{xy}$  в запас надежности определяется из (4.24в).

4.6.6. Соответствующие напряжения в продольных элементах каркаса

$$\sigma_{на}^{xy} = \pm \frac{M_{на}^{xy}}{W^{xy}}, \quad (4.30)$$

где  $M_{на}^{xy}$  - изгибающий момент в плоскости обшивки панели для расчетного сечения продольного элемента.

4.6.7. В тех случаях, когда продольные элементы закреплены в плоскости панели, то расчеты ведутся с учетом на нагрузку  $q^y$ .

Г. Изгиб продольных элементов каркаса из плоскости панели вследствие внеузлового опирания поперечных элементов либо вследствие непосредственного воздействия местной вертикальной нагрузки на обшивку при опирании поперечин в узлах продольных ферм и при  $n > 0,5$

Определение напряжений  $\sigma_{на}^{xy}$ .

4.6.8. В тех случаях, когда осуществляется внеузловое опирание поперечин на продольные элементы каркаса, последние независимо от величины "n" следует рассчитывать в соответствии с расчетной схемой (рис. 16) как многопролетную неразрезную балку, опертую на узлы продольных ферм конструкции и находящуюся под воздействием только сосредоточенных сил, которые представляет собой опорные реакции поперечин  $R_i^x$  (см. п. 4.8 настоящего раздела).

В тех случаях, когда поперечные элементы опираются в узлах продольных ферм и при  $n > 0,5$ , часть местной вертикальной нагрузки с обшивки передается непосредственно на продольные элементы каркаса (в соответствии со схемой (см. рис. 17 - с ватрихованной площади I). Таким образом, погонная вертикальная нагрузка "q", действующая на продольные элементы каркаса имеет вид треугольника, ординаты которого вычисляются по формуле:

$$q = \bar{q} \cdot y_i. \quad (4.31a)$$

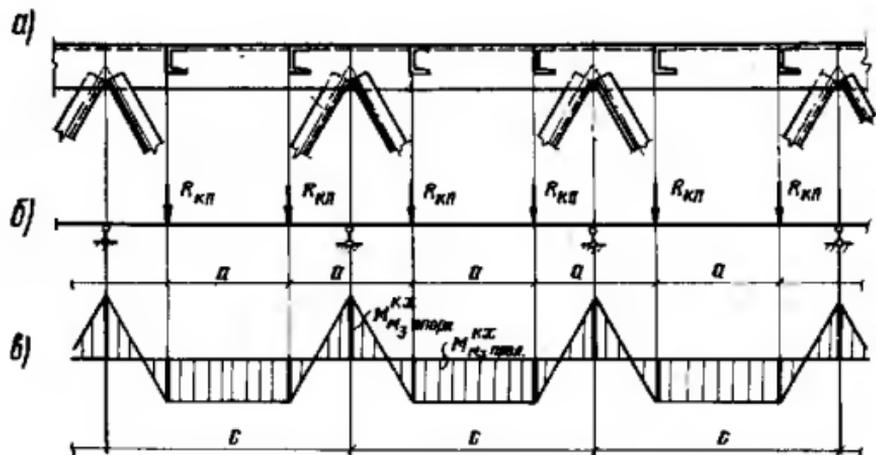


Рис.16. Расчетная схема продольных элементов каркаса панели при их работе на изгиб от внеузлового опирания поперечин

- а) - конструктивная схема;  
 б) - расчетная схема;  
 в) - эпюра моментов из плоскости панели

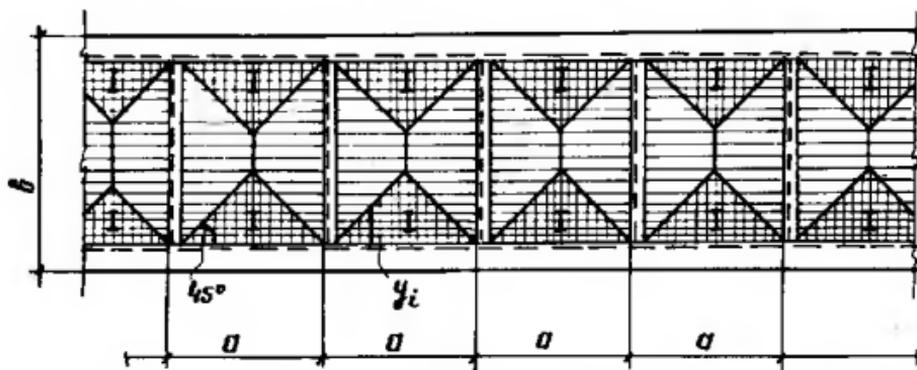


Рис.17. Схема передачи местной вертикальной нагрузки с обшивки на продольные элементы каркаса панели при  $n - \frac{h}{a} > 0,5$  и при опирании поперечных элементов в узлах продольных ферм

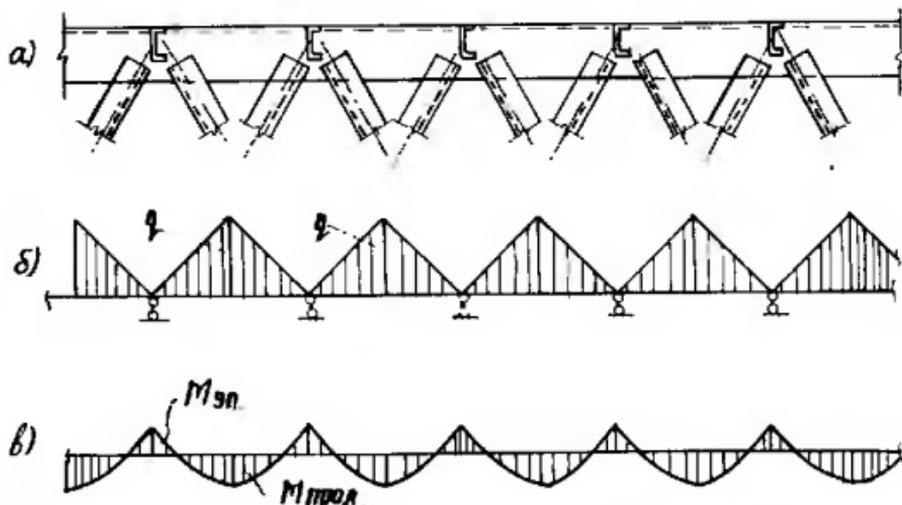


Рис. 18. Расчетная схема продольных элементов каркаса панели при их работе на изгиб от местной вертикальной нагрузки при  $h > 0,5$  при опирании поперечных элементов в узлах продольных ферм

- а) - конструктивная схема;  
 б) - расчетная схема;  
 в) - эпюра моментов из плоскости панели

Расчетная схема продольных элементов каркаса для данного случая представлена на рис. 18.

#### 4.6.9. Соответствующие напряжения в продольных элементах

$$\sigma_{изп}^{кх} = \pm \frac{M_{изп}^{кх}}{W_{изп}^{кх}}, \quad (4.31б)$$

где  $M_{изп}^{кх}$  - изгибающий момент из плоскости панели для расчетного сечения продольного элемента.

Д. Изгиб продольных элементов каркаса из плоскости и в плоскости панели вследствие эксцентричного прикрепления раскосов продольных ферм. Определение напряжений  $\sigma_{изп}^{кх}$ ,  $\sigma_{плоск}^{кх}$ .

4.6.10. Эксцентричное прикрепление раскосов вызывает в продольных элементах каркаса изгиб из плоскости панели под воздействием местных сосредоточенных моментов  $M_{изп}$  и изгиб в плоскости панели

под воздействием местных сосредоточенных моментов  $M_{NS}$ , приложенных в узлах ферм, как показано на рис. 19 а, б.

$$M_{NY} = \Delta N \cdot e^x; \quad M_{NS} = \Delta N \cdot e^y, \quad (4.32 \text{ а, б})$$

где  $e^x, e^y$  — эксцентриситеты прикрепления раскосов к продольным элементам каркаса;

$\Delta N$  — алгебраическая сумма проекций на ось продольного элемента усилий в раскосах  $N_P^x, N_P^y$ , сходящихся в данном узле.

4.6. II. Продольные элементы каркаса рассчитываются как многопролетные неразрезные балки, опертые на узлы продольных ферм (рис. 19б) или на поперечные элементы (рис. 19в) и находящиеся под воздействием сосредоточенных внешних изгибающих моментов  $M_{NY}$  и  $M_{NS}$ , соответственно. Максимальные изгибающие моменты возникают в сечениях, соответствующих узлам прикрепления раскосов продольных ферм:

$$M_{NY}^{max} = \pm \frac{1}{2} M_{NY}; \quad M_{NS}^{max} = \pm \frac{1}{2} M_{NS}. \quad (4.33 \text{ а, б})$$

Соответствующие напряжения в продольных элементах каркаса в этих сечениях:

$$\sigma_{NY}^{max} = \pm \frac{M_{NY}^{max}}{W_{NY}}; \quad \sigma_{NS}^{max} = \pm \frac{M_{NS}^{max}}{W_{NS}}. \quad (4.33 \text{ а, б})$$

Обычно  $\sigma_{NS}^{max} = 0$ , так как изгиб продольных элементов каркаса в плоскости обшивки возможен только во внутрь панели при одновременном выполнении двух условий:

- 1) — при отсутствии поперечных закреплений этих элементов;
- 2) — при исчерпании растягивающих напряжений в обшивке.

Б. Изгиб продольных элементов каркаса из плоскости панели вследствие их кривизны между узлами решетки вертикальных ферм блоков. Определение напряжений  $\sigma_{NY}^{max}$ .

4.6. I2. В тех случаях, когда продольные элементы каркаса панели изогнуты между узлами крепления раскосов продольных ферм, эти элементы работают на изгиб из плоскости панели в соответствии



со схемой (на рис.20), как балка с заземленными концами, находящаяся под воздействием нормальных сил  $\bar{N}^k$ , действующих в каждом из продольных элементов каркаса панели и определяемых по формуле:

$$\bar{N}^k = \frac{1}{2}(N+H) = \frac{1}{2}N + \bar{N}_n^k, \quad (4.34)$$

где  $H$  - определяется в соответствии с (4.27).

4.6.13. Изгибающие моменты  $M_{nc}^{kx}$  в такой балке определяются следующим образом:

$$\text{в пролете:} \quad M_{nc}^{kx} = 0,75 \cdot \bar{N}^k \cdot f, \quad (4.35)$$

$$\text{на опорах:} \quad M_{nc}^{kx} = -0,25 \cdot \bar{N}^k \cdot f. \quad (4.36)$$

4.6.14. Соответствующие напряжения в продольных элементах каркаса панели:

$$\sigma_{nc}^{kx} = \pm \frac{M_{nc}^{kx}}{W_{nc}^{kx}}. \quad (4.37)$$

Ж. Суммарные местные усилия и напряжения в продольных элементах каркаса панелей. Определение  $\bar{N}_n^k, M_n^{kxy}, \bar{\sigma}_n^k$ .

4.6.15. Для проверки несущей способности как сжатых, так и растянутых продольных элементов каркаса панелей по условию прочности вычисляются полные местные напряжения  $\bar{\sigma}_n^k$  в фибрах продольных элементов как сумма напряжений от одновременного воздействия вышеприведенных факторов в соответствующих сечениях:

$$\bar{\sigma}_n^k = \sum_{i=1}^6 \sigma_{ni}^k. \quad (4.38)$$

4.6.16. Для проверки несущей способности сжатых продольных элементов каркаса панелей по устойчивости следует вычислить полные местные усилия  $\bar{N}_n^k, M_n^{kxy}, M_n^{kz}$ , действующие одновременно в соответствующих сечениях продольных элементов.

Местная нормальная сила:

$$\bar{N}_n^k = \frac{1}{2}H,$$

где  $H$  - определяется в соответствии с (4.27).

Местные изгибающие моменты определяются для средней трети панели продольного элемента, т.е. - между узлами продольных ферм.

$$\bar{M}_n^{kxy} = M_{nc}^{kxy} + M_{nm}^{kxy} + M_{ns}^{kxy}, \quad (4.39a)$$

$$\bar{M}_n^{kz} = M_{nc}^{kz} + M_{ns}^{kz}. \quad (4.39b)$$

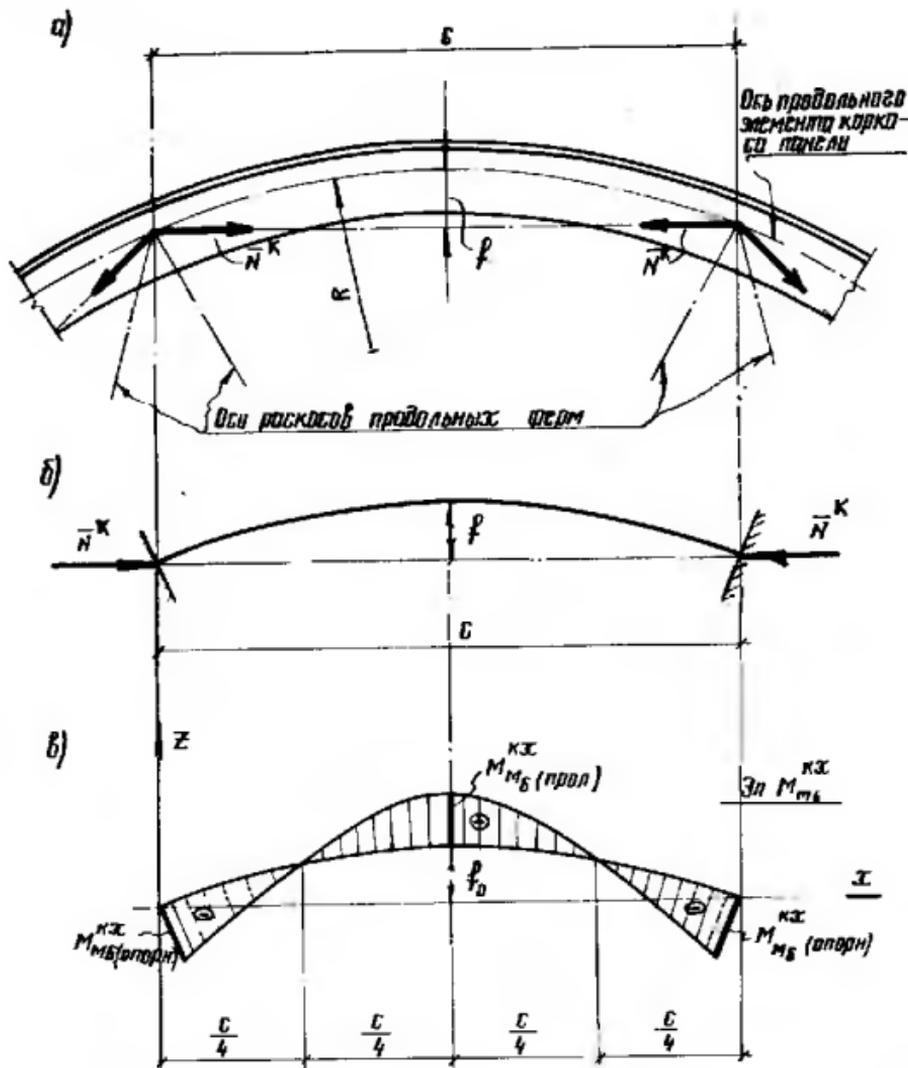


Рис. 20. Расчетная схема продольных элементов каркаса панели при изгибе вследствие их кривизны между узлами продольных элементов продольных ферм

- а) - конструктивная схема;  
 б) - расчетная схема;  
 в) - эпюра моментов  $M^kx$

Расчетная нормальная сила  $\bar{N}$ , действующая в том же сечении, определяется в соответствии с (4.34).

В (4.38), (4.39) местные усилия и напряжения принимаются со своими алгебраическими знаками.

4.6.17. Пример расчета продольных элементов каркаса панелей на местные нагрузки приведен в приложении 2.

4.7. Определение суммарных напряжений в продольных элементах каркаса -  $\sigma^k$  и в обшивках  $\sigma^o$ , а также суммарных усилий в продольных элементах каркаса панелей.

4.7.1. После того, как вычислены усилия и напряжения в элементах панели на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации, необходимо произвести поверочные расчеты сечения панели.

4.7.2. В тех случаях, когда панель в процессе эксплуатации работает главным образом на растяжение или на растяжение с изгибом, проводится только поверочный расчет по прочности. Суммарные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса панели в самом общем виде определяются по формулам:

$$\sigma^o = \sigma_n^o + \bar{\sigma}_n^o + \bar{\sigma}_n^o \leq R_y^o; \quad \sigma^k = \sigma_n^k + \bar{\sigma}_n^k + \bar{\sigma}_n^k \leq R_y^k. \quad (4.40a, б)$$

Причем напряжения  $\sigma_n^o$  и  $\sigma_n^k$  в растянутых панелях определяются следующим образом:

$$1. - \text{если} \quad \frac{N}{A^n} \leq R_y^o - (\bar{\sigma}_n^o + \bar{\sigma}_n^o),$$

то

$$\sigma_n^o = \sigma_n^k = \frac{N}{A^n}, \quad (4.40в)$$

$$2. - \text{если} \quad \frac{N}{A^n} > R_y^o - (\bar{\sigma}_n^o + \bar{\sigma}_n^o),$$

то

$$\sigma_n^o = R_y^o - (\bar{\sigma}_n^o + \bar{\sigma}_n^o), \quad (4.40г)$$

а

$$\sigma_n^k = \frac{N - (R_y^o - \bar{\sigma}_n^o - \bar{\sigma}_n^o) \cdot (K_y \cdot A^o)}{A^k} \quad (4.40д)$$

4.7.3. Если панель работает на сжатие или сжатие с изгибом, проверка прочности производится в соответствии с (4.40 а, б) и, кроме того, необходимо дополнительно производить проверку продольных элементов каркаса на местную устойчивость. При этом расчетная нормальная сила  $\bar{N}^k$ , действующая в продольном элементе вычисля-

ется в соответствии с (4.34), а расчетные местные изгибающие моменты  $M_{N}^{xx}$ ,  $M_{N}^{yy}$  - в соответствии с (4.39).

4.7.4. Пример определения суммарных усилий и напряжений в продольных элементах каркаса  $\sigma^x$  и в обшивке  $\sigma^y$  скатых панелей приведен в приложении 2.

#### 4.8. Расчет поперечных элементов каркаса панелей

4.8.1. Поперечные элементы каркаса панелей могут быть рассчитаны по схеме рис. 2I как шарнирно-опертая балка с пролетом, равным величине "b", находящаяся под воздействием равномерно рас-

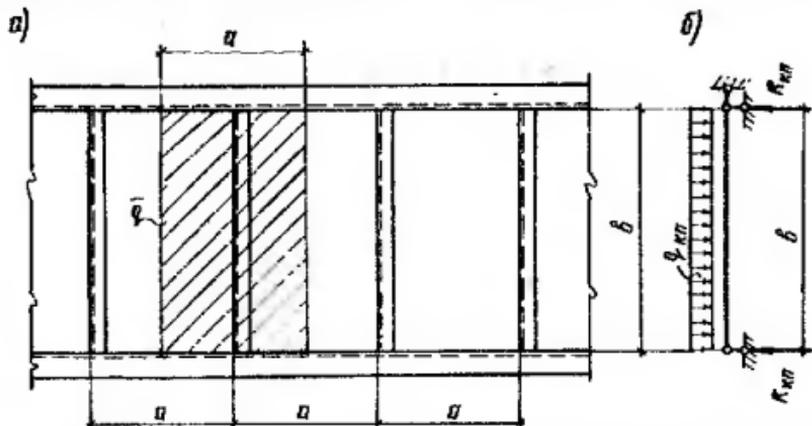


Рис. 2I. Расчетная схема поперечных элементов каркаса панелей

- а) - грузовая площадь для поперечного элемента;  
 б) - расчетная схема

пределенной погонной нагрузки

$$q_{kn} = q a . \quad (4.41)$$

Если непосредственно к поперечным элементам приложены дополнительные нагрузки, они должны учитываться, как обычно.

При этом в состав расчетного сечения поперечных элементов не должна вводиться обшивка панели.

#### 4.8.2. Расчетные напряжения в поперечных элементах:

$$\sigma_{kn}^x = \frac{M_{kn}^x}{W_{kn}^x} , \quad (4.42)$$

где  $W_{kn}^x$  - момент сопротивления собственного сечения поперечного элемента каркаса панели;

$M_{kn}^x$  - расчетный изгибающий момент.

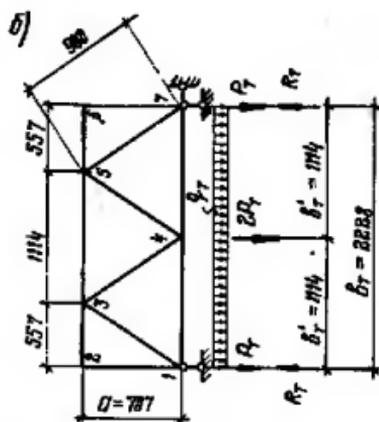
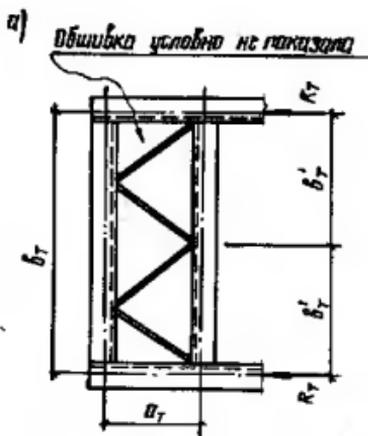


Рис. 22. Расчетная схема торцевой фермы натяжения

- а) - план;  
б) - расчетная схема

4.8.3. На продольные элементы каркаса панели нагрузка с поперечных элементов передается в виде сосредоточенных опорных реакций  $R_{кл}$ . Для случая загрузки только равномерно распределенной нагрузкой  $q_{кл}$

$$R_{кл} = \frac{1}{2} q_{кл} \cdot b ; \quad (4.43a)$$

$$M_{кл}^* = \frac{q_{кл} \cdot b^2}{8} . \quad (4.43б)$$

4.8.4. Пример расчета поперечных элементов панелей на местные нагрузки приведен в приложении 2.

#### 4.9. Расчет элементов торцевых ферм натяжения панелей

4.9.1. Торцевые фермы натяжения крайних панелей блоков в самом общем случае работают на два вида нагрузок (рис. 22):

- а) на равномерно распределенную нагрузку от предварительного натяжения обшивки  $q_{тн}$  в процессе заводского изготовления;  
б) равномерно распределенную нагрузку  $q_{но}$  от работы обшивки в продольном направлении под воздействием местных поперечных на-

грузок:

$$q_{mn}^r = \sigma_n^a \cdot t; \quad q_{no}^r = \sigma_n^{ax} \cdot t;$$

полная расчетная нагрузка:

$$q_r = q_{mn}^r + q_{no}^r = t(\sigma_n^a + \sigma_n^{ax}),$$

(4.44 а, б, в)

где  $\sigma_n^a$  - вычисляется в соответствии с п.4.4, а  $\sigma_n^{ax}$  - в соответствии с п. 4.5 настоящего раздела.

При этом для случая  $n > 0,5$  в запас надежности принимается:

$$\sigma_n^{ax} = \sigma_{nmax}^{ax} \quad (\text{см. (4.24)})$$

4.9.2. Торцевые фермы натяжения средних панелей блоков работают только на нагрузку от предварительного натяжения обшивки  $q_{no}^r$ , т.е. для этих панелей  $q_{mn}^r = 0$ .

4.9.3. Расчет ферм натяжения производится в соответствии с расчетной схемой на рис. 22 при следующих предположениях:

а) до начала производства предварительного натяжения обшивка прикрепляется ко всем элементам торцевой фермы;

б) все элементы торцевой фермы работают на осевые усилия;

в) участок обшивки, расположенный непосредственно над торцевой фермой, может учитываться в расчете, так как фактически включается в ее работу;

г) нагрузка  $q_r$  считается целиком приложенной к узлам нижнего пояса торцевой фермы.

4.9.4. На рис. 22 обозначено:

$a_r$  - высота торцевой фермы в осях ее поясов;

$b_r$  - пролет торцевой фермы в осях продольных элементов каркаса панели;

$b_r'$  - расстояние между узлами торцевой фермы:

$$P_r = q_r \cdot b_r' \cdot \frac{1}{2}; \quad R_r = q_r \cdot \frac{b_r}{2}. \quad (4.45 \text{ а, б})$$

4.9.5. Пример расчета торцевой фермы натяжения крайних панелей блока покрытия приведен в приложении 2.

## КОНСТРУИРОВАНИЕ, ЗАВОДСКОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ПОКРЫТИЯ ОЛИМПЕЙСКОГО СПОРТКОМПЛЕКСА ЦСКА

### I. Конструктивное описание

Спорткомплекс ЦСКА представляет собой здание размерами в плане 84x300 м в осях колонн, или 110x306 м по периметру покрытия. В здании размещены футбольное и легкоатлетическое поля с трибунами на 10 тыс. зрителей, а также ряд спортивных залов, бытовых и технологических помещений. Общая схема сооружения показана на рис. 23.

Средняя часть здания, его ядро, воспринимающее все горизонтальные нагрузки, которые действуют в продольном направлении, решена в виде системы многоэтажных рам с сеткой колонн 12x12 м и имеет в плане размеры 48x110 м.

К ядру здания с обеих сторон примыкают каркасы залов размерами в плане 126x110 м. Поперечная жесткость этих каркасов обеспечивается подкосной конструкцией, образованной колоннами и косоурами трибун. По основным колоннам предусмотрены подстропильные неравные балки. Пролет залов в осях колонн 84 м.

В покрытии основных залов через каждые 24 м предусмотрены светоаэрационные зенитные фонари, которые служат также температурными швами.

Несущие конструкции покрытия основных залов выполнены в виде предварительно-напряженных объемных блоков длиной 104 м, шириной 2,5 м, высотой от 2,0 м по краям до 6 м в коньке. Очертания верхнего и нижнего поясов двояковыпуклых ферм определяются окружностями  $R = 677$  м.

Конструкция блока состоит из верхних и нижних панелей, соединенных между собой решеткой крестового очертания из одиночных уголков. Продольные и поперечные контурные элементы каркасов панелей выполнены из уголков, развернутых обухами внутрь блока.

Панели (рис. 2) имеют в плане размеры по обухам 2,12x12 м. Верхние скатые панели состоят из сварного каркаса, образованного из продольных уголков сечением 200x14 мм или 200x12 мм, торцевых фермочек, воспринимающих усилия предварительного натяжения обшив-

ки, из уголков сечением  $80 \times 7$  мм и поперечин из 8П; поставленных с шагом 1,5 м. К каркасу прикрепляется стальная обшивка толщиной 1,5 мм (проект), которая предварительно напрягается до расчетного уровня напряжений. Продольные уголки каркаса нижних панелей имеют сечение  $200 \times 125 \times 11$  мм. Они ориентированы так, что большая полка расположена вертикально. Обшивка нижних растянутых панелей той же толщины 1,5 мм получает конструктивное предварительное напряжение около  $3000 \text{ Н/см}^2$ .

## 2. Заводское изготовление предварительно напряженных панелей

Технологическая схема изготовления предварительно напряженных панелей на автоматизированной поточной линии показана на рис. 24. Технология разделена на следующие этапы. На радиально-сверлильном станке с подвижным столом-кондуктором "1" производится сверловка поясных уголков по кондукторным плитам. На плоском стенде "2" собирается на прихватках плоский каркас панели, после чего он переносится на кантователь "3", позволяющий производить сварку всех стыков в нижнем положении. Сварка каркаса производится полуавтоматом в среде  $\text{CO}_2$  проволокой Св-08Г2С  $\varnothing 1,6$  мм. Параллельно на стенде "4" производится сварка листов настила з карты  $1250 \times 12000$  мм стыковым швом на медной подкладке автоматом в среде  $\text{CO}_2$  проволокой Св-08Г2С  $\varnothing 1,6$  мм.

Натяжение обшивки производилось в соответствии со способом "тетива".

Операции по натяжению обшивки осуществляются на стенде "5". На стенд укладываются две карты обшивки, на которые в свою очередь устанавливается сваренный каркас. Листы обшивки привариваются к одному из торцов каркаса, после чего винтовыми домкратами каркас упруго выгибается вверх на расчетную величину. Затем листы обшивки вытягиваются пневмодомкратами усилием 8 т до прямолинейного состояния и привариваются ко второму торцу.

При снятии панели со стенда каркас, распрямляясь, упруго вытягивает обшивку. В таком состоянии панель подается на стенд "6" и укладывается обшивкой вверх с конструктивным обратным выгибом для лучшего прилегания продольных элементов каркаса к обшивке, после чего производится автоматическая приварка обшивки к продольным



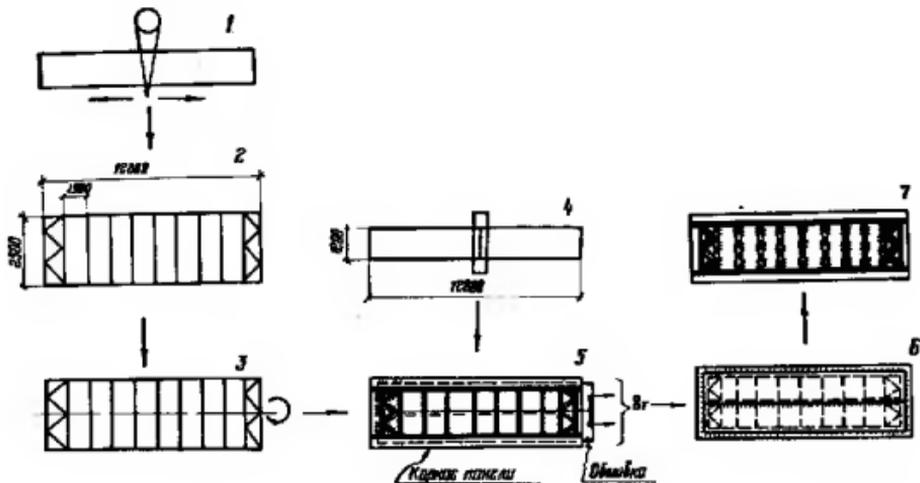


Рис.24. Поточная линия изготовления панелей покрытия

углам каркаса и сварка продольного шва обшивки внахлест. На стенде "7" прерывистыми швами обшивка приваривается к поперечным элементам каркаса.

Расчет панели покрытия в процессе изготовления приведен в примере приложения № 2.

### 3. Монтаж покрытия

Компоновка конструкции покрытия соответствует рис. I.

Укрупнительная контрольная сборка блока производилась в кондукторе, длина которого соответствовала длине монтажного блока. На этом этапе сборки осуществлялась выверка габаритных размеров блока, проектный выгиб панелей до радиуса 677 м и постановка элементов связевых решеток.

Элементы решеток главных ферм прикреплялись к продольным элементам каркаса панелей на несущих высокопрочных болтах - М22 в отверстия диаметром 23,5 мм в соответствии с рис. 2, 4.

Элементы поперечных связей прикреплялись на болтах нормальной точности М20 в отверстия диаметром 23 мм.

Из кондуктора контрольной сборки объемные блок-панели длиной 12 м, состоящие из верхней и нижней преднапряженных панелей и сое-

динительной решетки, подавались на сборочные стапели, где они объединялись в монтажные блоки длиной 104 м.

Монтажные стыки поясов блок-панелей между собой осуществлены сварными. Продольные уголки каркаса стыкуются на двусторонних накладках, в соответствии с рис. 8, а обшивка толщиной 2 мм перехлестывается напуском на торцевой элемент соседней панели.

Каждые два блока размерами 2,5х110 м объединялись перед подъемом в монтажный блок габаритами в плане 5х110 м. При этом продольный зазор между блоками перекрывался полосовыми нащельниками толщиной 2 мм и 4 мм, которые приваривались на полки уголков каркасов панелей. Максимальный вес монтажного блока составил 100 т.

Монтажный блок на тележках скипового типа по наклонной монтажной эстакаде поднимался на отметку подстропильных балок, по которым надвигался с помощью двух лебедок, грузоподъемностью по 8 т каждая в проектное положение. Для надвигки по балкам уложен квадратный рельс 60х60 мм, а в опорной конструкции блока предусмотрены специальные подкладки из обрезков швеллерных балок.

Продольные зазоры между монтажными блоками, установленными в проектное положение, перекрываются нащельниками толщиной 4 мм. Все монтажные стыки по верхним поясам блоков выполнены герметичными сплошными сварными швами.

---

## ПРИМЕР РАСЧЕТА СЖАТОЙ ПАНЕЛИ

В качестве примера здесь и далее принята сжатая панель верхнего пояса рядового блока покрытия спортивного комплекса ЦСКА. Общая схема покрытия приведена на рис. 23. Конструктивное описание, способ заводского изготовления и монтажа описаны в приложении № I. Значения расчетных сопротивлений стали  $R_y$  в данном примере приняты в соответствии со СНиП П.В.3-72, действовавшим в период проектирования и строительства рассматриваемого объекта.

## 1. Статический расчет конструкций в целом

Расчетным для рассматриваемой панели является монтажный случай загрузки блока. При этом расчетная схема представляет собой балку пролетом 104 м, шарнирно опертую по лонцам и загруженную равномерно распределенной монтажной нагрузкой  $q = 0,9$  т/м. Проверяемое сечение расположено на расстоянии 22 м от левой опоры. Принятые расчетные усилия в проверяемом сечении на всю ширину блока: изгибающий момент  $M = 820$  тм; поперечная сила  $Q = 27$  т; нормальная сила в сжатой панели  $N = -180$  т.

## 2. Конструктивная компоновка каркаса панели

Принятые размеры панели в плане: длина каркаса панели  $l_k = 11980$  мм, ширина панели (по обухам)  $b = 2120$  мм; шаг поперечных элементов каркаса панели:  $a = 1500$  мм.

Продольные элементы из прокатных уголков из стали марки 10Г2С1-12 ( $R_y = 2900$  кг/см<sup>2</sup>).

Поперечные элементы из швеллеров из стали марки ВСтЗпсб ( $R_y = 2100$  кг/см<sup>2</sup>).

Торцевые элементы натяжения выполнены в виде ферм высотой 707 мм (в осях поясов) из одиночных прокатных уголков из стали марки ВСтЗпсб ( $R_y = 2100$  кг/см<sup>2</sup>).

## 3. Предварительный подбор сечения панели.

## Геометрические характеристики

Схема расчетного сечения панели показана на рис. 10.

Обшивка панели из стали марки 10ХНДП ( $R_y = 2900$  кг/см<sup>2</sup>).  
 Ширина  $b = 2120$  мм, толщина  $t = 1,5$  мм,  $A' = 0,15 \times 212 = 31,8$  см<sup>2</sup>.

Величина возможных местных напряжений в каркасе принята

$$0,3 \cdot R_y^k = \bar{\sigma}_n^k \approx 900 \text{ кг/см}^2.$$

Тогда  $R_y^k - \bar{\sigma}_n^k = 2900 - 900 = 2000 \text{ кг/см}^2$ .

Требуемая площадь сечения продольных элементов каркаса скатой панели определяется по формуле (4.2).

$$A^k > \frac{N}{R_y^k - \bar{\sigma}_n^k} = \frac{18000}{2000} = 90 \text{ см}^2.$$

Для продольных элементов каркаса панели приняты  $2 \angle 200 \times 12$ ;  
 $W^{ms} = 340 \text{ см}^3$ ;  $W^{ms} = 125 \text{ см}^3$ ;  $A^k = 94 \text{ см}^2$ ;  $Z^{ms} = 5,37 \text{ см}$ ;  
 $Z^{ms} = 14,63 \text{ см}$ ;  $A^k = A^o + A^k = 125,8 \text{ см}^2$ .

В соответствии с (4.1):

$$A^k = A^o + K_y \cdot A^k = 125,8 \text{ см}^2;$$

где  $K_y = 1$  для скатых панелей.

В соответствии с (4.4) вычислим

$$K_o = \frac{A^o}{A^k} = \frac{31,8}{125,8} = 0,253; \quad 1 - K_o = 0,747;$$

$$Z \cdot K_o \cdot Z^{ms} = 0,253 \times 5,37 = 1,36 \text{ см};$$

$$Z^{ms} = Z^{ms} (1 - K_o) = 5,37 \times 0,747 = 4,02 \text{ см};$$

$$Z^{ms} = 20 - 4,02 = 15,98 \text{ см}.$$

#### 4. Определение минимально необходимой величины полного предварительного напряжения

Так как  $\mu = \frac{\alpha}{\delta} = \frac{1500}{2120} = 0,708 > 0,5$ , местные напряже-

ния в обшивке принимаются  $\bar{\sigma}_n^o = 0$ .

Минимально необходимая величина полного предварительного напряжения  $\bar{\sigma}_{nmin}^o$  определяется в соответствии с (4.6).

$$\bar{\sigma}_{nmin}^o = \frac{N}{A^o + K_y A^k} = \frac{18000}{94 + 31,8} = 1430 \text{ кг/см}^2 = |\bar{\sigma}_n^{sk}| = |-1430| \text{ кг/см}^2.$$

## 5. Определение монтажных предварительных напряжений

Радиус кривизны продольных элементов каркаса панели в проектном положении, т.е. радиусгиба панели в процессе монтажа  $\bar{z}_n = 67700$  см.

Предварительные напряжения на стадии монтажа  $\sigma_{nn}^o, \sigma_{nn}^k$  вычисляем по формуле (4.19):

$$\sigma_{nn}^o = E \frac{\bar{z}^{o^2}}{\bar{z}_n} = 2,1 \times 10^6 \times \frac{4,02}{67700} = 125 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{nn}^{k^2} = 125 \text{ кг/см}^2; \quad \sigma_{nn}^{k^2} = E \cdot \frac{\bar{z}^{k^2}}{\bar{z}_n} = \frac{2,1 \times 10^6 \times 16,13}{67700} = 500 \text{ кг/см}^2.$$

## 6. Определение предварительных напряжений на стадии заводского изготовления панели и определение окончательной величины радиусагиба

Минимально необходимая величина предварительного напряжения обшивки на стадии заводского изготовления  $\sigma_{nmin}^o$  определяется в соответствии с формулой (4.76):

$$\sigma_{nmin}^o = \sigma_{nmin}^k - \sigma_{nn}^o = 1430 - 125 = 1305 \text{ кг/см}^2.$$

Предварительное натяжение панели производилось способом "тетива".

Максимально возможные по методу "тетива" предварительные напряжения в обшивке определим в соответствии с (4.16), приняв  $R_y = 2000 \text{ кг/см}^2 = R_y^k - \sigma_{nn}^k$

$$\sigma_{nmax}^o = R_y^k (1 - K_y) = 2000 \times 0,747 = 1494 \text{ кг/см}^2 > \sigma_{nmin}^o = 1305 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом, с некоторым запасом по растяжению обшивки, вообще говоря, за расчетное предварительное напряжение в данном случае может быть принята величина  $\sigma_{nmax}^o$ . Однако, это приводит к увеличению напряжений сжатия в продольных элементах каркаса панели, а также к усилению торцевых ферм натяжения.

Поэтому в данном примере зададимся расчетным предварительным напряжением в обшивке:  $\sigma_n^o = \sigma_{nmin}^o = 1305 \text{ кг/см}^2$ . Требуемый при этом радиусгиба каркаса панели  $\bar{z}$ , а также минимально возможный из условия изготовления радиусгиба каркаса панели  $\bar{z}_{min}$

определим в соответствии с формулами таблицы 2.

$$z_{min} = E \cdot \frac{z^{min}}{Ry} = \frac{2,1 \times 10^6 \times 14,63}{2,9 \times 10^8} = 10600 \text{ см};$$

$\bar{z}$  получим, решив квадратное уравнение  $\bar{z}^2 + \bar{p} \cdot \bar{z} + \bar{q} = 0$ ,  
 где  $\bar{p} = -E \frac{z^{min} (1 - K_0)}{G_{nmin}} = -\frac{2,1 \times 10^6 \times 5,37 \times 0,747}{1305} = -6,48 \times 10^3 \text{ см};$

$$\bar{q} = -E \frac{l_x^2 (1 - K_0)}{G_{nmin} \cdot 24} = -\frac{2,1 \times 10^6 \times 1,198^2 \times 10^6 \times 0,747}{1305 \times 24} =$$

$$= -0,715 \times 10^6 \text{ см}^2;$$

$$\bar{z} = 12290 \text{ см.}$$

Таким образом требуемый радиус гiba каркаса панели  $\bar{z} > z_{min}$ , что позволяет назначить  $z = \bar{z}$  и, в соответствии с формулами таблицы 2, окончательно получить предварительные напряжения в обшивке и в продольных элементах каркаса панели  $G_n^{*k}$ :

$$G_n^* = G_{nmin} = 1305 \text{ кг/см}^2;$$

$$G_n^{*k} = -G_n^* \frac{K_0}{1 - K_0} = -1305 \frac{0,253}{0,747} = -442 \text{ кг/см}^2.$$

### 7. Определение полных предварительных напряжений

Исходные данные:  $G_n^* = 1305 \text{ кг/см}^2$ ;  $G_n^{*k} = -442 \text{ кг/см}^2$ ;  
 $G_{nл}^* = 125 \text{ кг/см}^2$ ;  $G_{nл}^{*k} = 125 \text{ кг/см}^2$ ;  $G_{nл}^{*k} = -500 \text{ кг/см}^2$ .

Суммарные предварительные напряжения  $\bar{G}_n^{*k}$  определяем в соответствии с (4.5)

$$\bar{G}_n^* = 1305 + 125 = 1430 \text{ кг/см}^2;$$

$$\bar{G}_n^{*k} = -442 + 125 = -317 \text{ кг/см}^2;$$

$$\bar{G}_n^{*k} = -442 - 500 = -942 \text{ кг/см}^2.$$

### 8. Определение мембранных напряжений в обшивке

Расчетная распределенная по площади нагрузка на мембране  $\bar{q} = 236 \text{ кг/м}^2$ ; расчетная погонная нагрузка (на ширину мембраны):  $q = 236 \times 2,12 = 501 \text{ кг/м}$ .

Соответствующие нормативные временные нагрузки:

$$q_{np}^* = 100 \text{ кг/м}^2; q_{np}^k = 100 \times 2,12 = 212 \text{ кг/м}; n = 0,708 > 0,5.$$

### 8.1. Расчет обшивки как мембран с прямолинейными кромками.

Расчетная схема приведена на рис. 14. Поперечные элементы каркаса панели приняты из [8] (см. п. 15 настоящего приложения). Суммарную площадь поперечных элементов каркаса панели, ограничивающих расчетную ячейку:  $A_s = 2 \times 8,98 = 17,96 \text{ см}^2$ .

Пользуясь номограммой рис. 15, определим редуцированный коэффициент  $\gamma$ . Для этого в соответствии с (4.23) определим коэффициенты  $K, L_a, L_b$ .

$$K = \frac{N}{\sqrt{q^2 b^4 E t}} = \frac{180000}{\sqrt{0,0236^2 \times 2 \times 12^5 \times 2,1 \times 10^6 \times 0,15}} = 4,27;$$

$$L_a = \frac{A^*}{A_s^* + b t} = \frac{94}{94 + 31,8} = 0,747;$$

$$L_b = \frac{A_s^*}{A_s^* + a t} = \frac{17,96}{17,96 + 22,5} = 0,444.$$

Учитывая, что  $n = 0,708$ , получаем  $\gamma = 0$ .

В соответствии с (4.24) определим напряжения в обшивке  $\sigma_n^{\alpha, \gamma}$  от полной расчетной нагрузки  $\bar{q}$  и прогиб  $f_y$  в центре мембраны от нормативной временной нагрузки  $\bar{q}_n$  при  $\gamma = 0$ :

$$\xi = 3; \quad \sigma_{n \max}^{\gamma} = 0; \quad \sigma_{n \max}^{\alpha} = 1,02 \cdot \sqrt{\frac{a^2 \cdot \bar{q}^2 \cdot E}{t^2 \cdot \xi^2}} = 1,02 \times \sqrt{\frac{150^2 \times 0,0236^2 \times 2,1 \times 10^6}{0,15^2 \times 3^2}} = 516,7 \text{ кг/см}^2;$$

$$f = 0,643 \cdot a \sqrt{\frac{a \cdot \bar{q}_n}{E \cdot t \cdot \xi}} = 0,643 \times 150 \times \sqrt{\frac{150 \times 0,0100}{2,1 \times 10^6 \times 0,15 \times 3}} = 1,125 \text{ см} < \frac{1}{100} a = 1,5 \text{ см}.$$

### 8.2. Расчет обшивки как гибкой нити.

Расчетная схема изображена на рис. 12. Так как фактически в данном случае  $n > 0,5$ , расчет обшивки как гибкой нити является приближенным и производится для сравнения с расчетом обшивки как мембраны.

В соответствии с (4.20) определим распор  $H$  и  $H_{sp}$

$$H = \sqrt[3]{\frac{q^2 a^2 E A^2 A^k}{24(A'' \cdot A^k)}} = \sqrt[3]{\frac{5,01^2 \times 150^2 \times 2,1 \times 10^6 \times 31,8 \times 94}{24(31,8 \times 94)}} = 10550 \text{ кг};$$

$$H_{sp} = \frac{(q_{sp}^k)^2 \cdot a^2 \cdot E A^2 A^k}{24(A'' \cdot A^k)} = \sqrt[3]{\frac{2,12^2 \times 150^2 \times 2,1 \times 10^6 \times 31,8 \times 94}{24(31,8 \times 94)}} = 5930 \text{ кг}.$$

Соответствующие напряжения в обшивке вычисляются по формуле (4.21):

$$\sigma_m^k = \frac{H}{A''} = \frac{10550}{31,8} = 332 \text{ кг/см}^2.$$

Стрелка прогиба  $f$  определяется в соответствии с (4.22) от нормативной временной нагрузки  $q_{sp}^k$ :

$$f = \frac{q_{sp}^k \cdot a^2}{8 \cdot H_{sp}^k} \left(1 - \frac{H_{sp}^k}{EA^k}\right) = \frac{2,12 \times 150^2}{8 \times 5930} \times \left(1 - \frac{5930}{2,1 \times 10^6 \times 94}\right)^2 =$$

$$= 1,005 \text{ см} < \frac{1}{100} a = 1,5 \text{ см}.$$

Таким образом, местные расчетные напряжения в обшивке и прогибы, вычисленные по приведенной методике при  $\mu \leq 0,5$ , оказываются меньшими, чем вычисленные при  $\mu > 0,5$ , вследствие того, что в последнем случае дополнительно учитываются деформации продольных элементов каркаса панели от полных расчетных нормальных сил  $N$  в сжатой панели.

## 9. Определение местных напряжений в продольных элементах каркаса

9.1. Определение напряжений сжатия  $\sigma_m^k$  в продольных элементах каркаса от продольных мембранных усилий.

В соответствии с (4.28) и, принимая в запас надежности  $\sigma_{m1}^k = \sigma_{m1}^k = 516,7 \text{ кг/см}^2$ , получим:

$$\sigma_{m1}^k = -\sigma_{m1}^k \frac{A''}{A^k} = -516,7 \times \frac{31,8}{94} = -174,8 \text{ кг/см}^2.$$

9.2. Определение напряжений изгиба  $\sigma_{m2}^k$  в продольных элементах каркаса от поперечных мембранных усилий.

В нашем случае поперечные мембранные напряжения  $\sigma_N^{xy} = \sigma_{N_{max}}^{xy} = 0$  (см. пример п.8 настоящего приложения). Поэтому, в соответствии с (4.29) и (4.30) поперечная нагрузка  $q_N^{xy} = \sigma_N^{xy} \cdot t = 0$ , изгибающий момент и плоскости обшивки  $M_{Nz}^{xy} = 0$  и напряжения в продольных элементах каркаса  $\sigma_{Nz}^{xy} = 0$ .

9.3. Определение изгибных напряжений  $\sigma_{Nz}^{xz}$  в продольных элементах каркаса вследствие внеузлового опирания поперечин

Расчетная схема соответствует приведенной на рис. 16. Величины пролетных изгибающих моментов (между узлами)  $M_{Nz}^{xпр}$  и опорных изгибающих моментов (в узлах)  $M_{Nz}^{xоп}$ , определим по таблицам для расчета неразрезных балок:

$$M_{Nz}^{xпр} = -\frac{1}{16} R_{кл} C = -\frac{1}{16} \times 375 \times 150 = -3516 \text{ кг.см};$$

$$M_{Nz}^{xоп} = \frac{3}{16} R_{кл} C = \frac{3}{16} \times 375 \times 150 = 10548 \text{ кг.см},$$

где  $R_{кл} = 375$  кг - реакция поперечин, вычисленная в п. II настоящего приложения.

Здесь и далее принимается, что изгибающие моменты положительны, если они растягивают внешние фибры продольных элементов каркаса панели (со стороны обшивки) и отрицательны, если сжимают эти фибры.

Соответствующие напряжения в продольных элементах каркаса панели определим по (4.31):

- в пролете:

$$\sigma_{Nz}^{xпр} = -\frac{3516}{340} = -10,3 \text{ кг/см}^2; \quad \sigma_{Nz}^{xоп} = \frac{3516}{125} = 28,1 \text{ кг/см}^2;$$

- на опоре:

$$\sigma_{Nz}^{xпр} = \frac{10548}{340} = 31 \text{ кг/см}^2; \quad \sigma_{Nz}^{xоп} = -\frac{10548}{125} = -84,3 \text{ кг/см}^2.$$

9.4. Определение изгибных напряжений  $\sigma_{Nz}^{xz}$ ,  $\sigma_{Nz}^{xy}$  в продольных элементах каркаса вследствие эксцентричного прикрепления раскосов продольных ферм.

Расчетная схема показана на рис. 19.

Исходные данные:  $e^x = 100$  мм;  $e^y = 50$  мм; углы примыкания раскосов  $\beta_1 = 54^\circ$ ;  $\beta_2 = 61^\circ 30'$ ;  $\cos \beta_1 = 0,588$ ;  $\cos \beta_2 = 0,477$ ;  $N'_P = N''_P = 8$  т;  $\Delta N = 8(0,588 + 0,477) = 8,52$  т.

Так как в плоскости обшивки продольные элементы каркаса панели раскреплены нащельниками по всей длине, принимаем:

$$\epsilon_{NS}^{xy} = 0.$$

Внешние сосредоточенные моменты из плоскости панели  $M_{NH}$  определим в соответствии с (4.32):

$$M_{NH} = \Delta N \cdot e^x = 8520 \times 10 = 85200 \text{ кг.см.}$$

Максимальные изгибающие моменты  $M_{NH}^{KX}$  в сечениях, соответствующих узлам прикрепления раскосов продольных ферм и соответствующие им напряжения  $\epsilon_{NH}^{KX}$  определяются в соответствии с (4.33):

$$M_{NH}^{KX} = \pm \frac{1}{2} M_{NH} = \pm \frac{1}{2} \times 85200 = \pm 42600 \text{ кг.см.}$$

$$\epsilon_{NH}^{KX} = \frac{M_{NH}^{KX}}{W_{KX}} = \pm \frac{42600}{340} = \pm 125,4 \text{ кг/см}^2;$$

$$\epsilon_{NH}^{KXK} = -\frac{M_{NH}^{KX}}{W_{KXK}} = \mp \frac{42600}{125} = \mp 341,2 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетные изгибающие моменты в центре между опорами  $M_{NH}^{KX} = 0$  и соответствующие напряжения в пролете  $\epsilon_{NH}^{KX} = 0$ .

9.5. Определение изгибных напряжений  $\epsilon_{NS}^{KX}$  в продольных элементах каркаса вследствие их кривизны между узлами решетки вертикальных ферм блока.

Расчетная схема соответствует приведенной на рис. 20.

Исходные данные: расстояние между узлами  $C = 3000$  мм;  $Z_N = 677$  м;  $\bar{Y}_K = 1823$  см<sup>4</sup>;  $N = -180$  т.

Расчетная нормальная сила  $\bar{N}^*$  в каждом из продольных элементов каркаса определяется в соответствии с (4.34):

$\bar{N}^* = \frac{1}{2}(N+H)$ , где  $H$  - вычисляется в соответствии с (4.27) для случая  $n > 0,5$ :

$$H = -\epsilon_N^* A^0 = -516,7 \times 31,8 = -16431 \text{ кг.}$$

$$\bar{N}^* = -\frac{1}{2}(180 + 16,43) = -98,2 \text{ т.}$$

Величина расчетных изгибающих моментов  $M_{NS}^{KX}$  вычисляется в соответствии с (4.35) (4.36), а соответствующие напряжения по (4.37).

$$f = \frac{c^2}{82N} = \frac{300^2}{8 \times 67700} = 0,166 \text{ см.}$$

Изгибающие моменты  $M_{NG}^{kx}$ :

- в пролетах -

$$M_{NG}^{kx} = 0,75 \cdot \bar{N}^k \cdot f = 0,75 \times 98200 \times 0,166 = 12225 \text{ кг.см;}$$

- на опоре -

$$M_{NG}^{kx} = -0,25 \cdot \bar{N}^k \cdot f = -0,25 \times 98200 \times 0,166 = -4075 \text{ кг.см.}$$

Напряжения в продольных элементах каркаса панели:

- на опоре:

$$\sigma_{NG}^{kx} = -\frac{4075}{340} = -12,0 \text{ кг/см}^2; \quad \sigma_{NG}^{kxk} = \frac{4075}{125} = 32,5 \text{ кг/см}^2;$$

- в пролете:

$$\sigma_{NG}^{kx} = 36 \text{ кг/см}^2; \quad \sigma_{NG}^{kxk} = -97,5 \text{ кг/см}^2.$$

9.6. Определение суммарных местных усилий  $\bar{N}_N^k$ ,  $\bar{M}_N^{kx}$ ,  $\bar{M}_N^{ky}$  в продольных элементах каркаса панелей.

Вычисление указанных усилий производится в соответствии с (4.39):

$$\bar{N}_N^k = -\frac{1}{2} H = -\frac{1}{2} \times 16,4 = -8,2 \text{ т (для случая, когда } \mu > 0,5).$$

$$\bar{M}_N^{ky} = M_{NL}^{ky} + M_{NG}^{ky} = 0.$$

Для сечения между узлами крепления решетки вертикальных ферм (в средней трети панели):

$$\bar{M}_N^{kx} = M_{NS}^{kx} + M_{NY}^{kx} + M_{NG}^{kx} = -3516 + 0 + 12225 = 8709 \text{ кг.см.}$$

Для сечения в узлах крепления решетки вертикальных ферм:

$$\bar{M}_N^{kx} = M_{NS}^{kx} + M_{NY}^{kx} + M_{NG}^{kx} = 10548 \mp 42600 - 4075 \begin{cases} 49073 \text{ кг.см} \\ -36127 \text{ кг.см} \end{cases}$$

10. Определение расчетных суммарных напряжений  $\sigma^k$  и  $\sigma^o$ , а также расчетных суммарных усилий  $\bar{N}$ ,  $M_{потяг}^{kx}$  в продольных элементах каркаса панели. Проверка скатой панели по прочности и по устойчивости

10.1. Проверка продольных элементов каркаса и обшивки панели по прочности. Определение  $\sigma^k$  и  $\sigma^o$ .

Суммарные напряжения в элементах панели определяются в табличной форме (см. табл. 3). Как следует из табл. 3, подобранное сечение

Т а б л и ц а 3

Таблица вычисления расчетных суммарных напряжений

		Предварительное напряжение, кг/см <sup>2</sup>			Местные напряжения, кг/см <sup>2</sup>					Напряжения от нагрузки, кг/см <sup>2</sup>	Расчетные суммарные напряжения, кг/см <sup>2</sup>	
		при изготовлении	при монтаже	всего	от мембран. усилий	от внеузлового опирания попереч.	от эксц. крепления раскосов	от кривизны между узлами	всего местн.			
		$\sigma_{II}^{ок}$	$\sigma_{III}^{ок}$	$\bar{\sigma}_{II}^{ок}$	$\bar{\sigma}_{III}^{ок}$	$\sigma_{N3}^{кх}$	$\sigma_{N4}^{кх}$	$\sigma_{N6}^{кх}$	$\bar{\sigma}_N^{ок}$	$\sigma_N^{ок}$	$\sigma^{ок}$	
№ расчета		6	5	7	8.1, 9.1	9.3	9.4	9.5		4		
Сечение между узлами	Обшивка	$\sigma^o$	+1305	+125	+1430	516,7 0	-	-	-	516,7 0	-1430	516,7 (в центре) 0 (у края)
	Каркас	$\sigma^{кх}$	-442	+125	-317	-174,8	-10,3	-	+36	-149,1	-1430	-1896,1
	Каркас	$\sigma^{кн}$	-442	-500	-942	-174,8	+28,1	-	-97,5	-244,2	-1430	-2616,2
Сечение над узлами	Обшивка	$\sigma^o$	+1305	+125	+1430	516,7 0	-	-	-	516,7 0	-1430	516,7 (в центре) 0 (у края)
	Каркас	$\sigma^{кх}$	-442	+125	-317	-174,8	+31	+125,4	-12	-30,4 -281,2	-1430	-2028,2
	Каркас	$\sigma^{кн}$	-442	-500	-942	-174,8	-84,3	+341,2	+32,5	-567,8 +114,6	-1430	-2939,8

панели удовлетворяет условиям прочности:

$$\sigma_{\max}^0 = 1430 \text{ кг/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c ;$$

$$\sigma_{\min}^k = -2939,8 \text{ кг/см}^2 \approx R_y^k \cdot \gamma_c,$$

$\gamma_c$  - принимается в соответствии с табл. 6 СНиП II-23-81: по растяжению -  $\gamma_c = 0,95$ ; по сжатию -  $\gamma_c = 1,0$ .

10.2. Проверка продольных элементов каркаса панели на местную устойчивость

В нашем примере местная потеря устойчивости продольных элементов каркаса панели возможна только из плоскости панели. Принимается в запас надежности, что обшивка не участвует в работе продольного элемента.

Суммарная расчетная нормальная сила  $\bar{N}$  в каждом из продольных элементов каркаса определяется в соответствии с (4.34):

$$\bar{N}^k = \frac{1}{2} N + \bar{N}_N^k = -\frac{1}{2} \times 180 - 8,2 = -98,2 \text{ т};$$

$$\bar{N}_N^k = -8,2 \text{ т (см. п. 9.6).}$$

Соответствующий расчетный изгибающий момент в средней трети панели продольного элемента:

$$M_N^k = 8709 \text{ кг.см (см. п. 9.6).}$$

Вычислим коэффициент продольного изгиба  $\gamma_e^k$ .

Исходные данные для каждого из продольных элементов каркаса:  
 $\angle 200 \times 12$ ;  $A^k = 47 \text{ см}^2$ ;  $W_c^k = 340 \text{ см}^3$ ;  $\lambda_x = 48,2$ ;  $R_y^k = 2900 \text{ кг/см}^2$ ;  $E_k = 2,1 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$ ;  $\gamma_c = 0,95$

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_y^k}{E_k}} = 48,2 \times \sqrt{\frac{2900}{2,1 \times 10^6}} = 1,79;$$

$$e = \frac{M_N^k}{\bar{N}^k} = \frac{8709}{98200} = 0,089;$$

$$m = e \cdot \frac{A^k}{W_c^k} = 0,089 \times \frac{47}{340} = 0,0123.$$

По таблице 73 п. 9 СНиП II-23-81 определим коэффициент формы сечения  $\eta \approx 1,31$ .

Приведенный эксцентриситет:

$$m_{ef} = \eta m = 1,31 \times 0,0123 = 0,016.$$

Коэффициент продольного изгиба при  $\lambda_x = 1,79$ ;  $m_{ef} = 0,016$   
 $\gamma_e^* = 0,814.$

Напряжение устойчивости в продольных элементах каркаса панели

$$\sigma^* = - \frac{98200}{0,814 \times 47} = -2560 \text{ кг/см}^2 < R_y^* \cdot \gamma_c.$$

## II. Расчет поперечных элементов

Расчетная схема показана на рис.21.

Погонную нагрузку на поперечину  $q_{кл}$  определяем по формуле (4.41), а изгибающие моменты  $M_{кл}^*$ , реакции  $R_{кл}$  - по формулам (4.43)

$$q_{кл} = \bar{q} a = 236 \times 1,5 = 354 \text{ кг/м};$$

$$R_{кл} = \frac{1}{2} q_{кл} b = 0,5 \times 354 \times 2,12 = 375 \text{ кг};$$

$$M_{кл}^* = \frac{q_{кл} b^2}{8} = \frac{354 \times 2,12^2}{8} = 199 \text{ кг/м}.$$

Поперечные элементы принимаем из стали марки ВСтЗпсб  $L 8II$ ,  
 $W_{кл}^* = 22,5 \text{ см}^3$ ;  $F_{кл} = 8,98 \text{ см}^2.$

Расчетное напряжение вычисляется в соответствии с (4.42)

$$\sigma_{кл}^* = \pm \frac{M_{кл}^*}{W_{кл}^*} = \pm \frac{19900}{22,5} = \pm 884 \text{ кг/см}^2.$$

## 12. Расчет торцевой фермы натяжения крайней панели блока покрытия

Расчетная схема соответствует показанной на рис. 22.

Исходные данные: материал элементов ферм - сталь марки ВСтЗпсб;  $a_T = 707 \text{ мм}$ ;  $b_T = 2120 + 2 \times 53,7 = 2228 \text{ мм}$ ;  $b'_T = 1114 \text{ мм}$ ;  
 $t = 1,5 \text{ мм}$ ;  $\sigma_{нпн}^* = 516,7 \text{ кг/см}^2$  (см. п. 8.1 данного примера);  
 $\sigma_n^* = 1305 \text{ кг/см}^2$  (см. п. 6 данного примера).

Нагрузку  $q_T$  определим по формуле (4.44)

$$q_T = t(\sigma_n^* + \sigma_{нпн}^*) = 0,15(1305 + 516,7) = 274 \text{ кг/см}.$$

Узловые силы  $P_T$  и реакции  $R_T$  вычислим по формуле (4.45):

$$P_T = q_T b'_T \frac{1}{2} = 274 \times 1114,4 \times \frac{1}{2} = 15300 \text{ кг};$$

$$R_r = q_r b_r = 274 \times III,4 = 30500 \text{ кг.}$$

Расчетные усилия в элементах фермы:

$$\text{для верхнего пояса } S_{35} = -24408 \text{ кг; } S_{23} = S_{66} = 0;$$

$$\text{для нижнего пояса } S_{44} = S_{47} = 12204 \text{ кг;}$$

$$\text{для раскосов } S_{13} = S_{57} = -19700 \text{ кг;}$$

$$S_{24} = S_{65} = 19710 \text{ кг.}$$

Принимаем: пояса фермы из одиночных уголков  $100 \times 63 \times 7$ , раскосы — из одиночных уголков  $80 \times 7$ .

Следует произвести проверку напряжений в скатом элементе верхнего пояса (стержень 3-5) и в скатом раскосе (стержень 1-3), учитывая, что потеря устойчивости этих элементов возможна только из плоскости фермы.

Проверка стержня 3-5.

Расчетная площадь сечения пояса  $A_n^r$  принимается с учетом включения в работу стержня полосы обшивки шириной  $30+20=50$  мм (где:  $20 \text{ мм} < 15 \cdot t$  — ширина свеса обшивки;  $30 \text{ мм}$  — ширина нахлеста обшивки на уголок пояса фермы);  $A_n^r = II,7+5 \times 0,15 = 12,45 \text{ см}^2$ .

Радиус инерции объединенного сечения пояса:  $Z_n = 3,11 \text{ см}$ .

Расчетная длина стержня 3-5 из плоскости фермы в запас надежности может быть принята  $l_y = III,4 \text{ см}$  (см. схему 9 таблицы 15.6 Справочника проектировщика под ред. А.А. Уманского, расчетно-теоретический том, Стройиздат, М., 1960 г.).

$$\lambda_y = \frac{III,4}{3,11} = 36; \quad \gamma_y = 0,922;$$

$$\sigma_y^{\max} = -\frac{24408}{0,922 \times 12,45} = -2102 \text{ кг/см}^2 \approx R_y \cdot \gamma_c$$

Проверка стержня 1-3.

Расчетное сечение в запас надежности принимается без учета работы обшивки;

$$A_p = 10,8 \text{ см}^2; \quad Z_p = 2,45 \text{ см; } l_p = 90 \text{ см;}$$

$$\lambda_y = \frac{90}{2,45} = 36,8; \quad \gamma_y = 0,917;$$

$$\sigma_y^{\max} = -\frac{19710}{0,917 \times 10,8} = -1990 \text{ кг/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c$$

## С о д е р ж а н и е

	Стр.
1. Общие положения .....	3
2. Конструирование, изготовление и монтаж .....	4
3. Защита от коррозии .....	16
4. Расчет конструкций из предва- рительно-напряженных панелей с тонколистовыми обшивками ..	19
Приложение № 1 - Пример конст- руирования, заводского изго- товления и монтажа большепро- летного покрытия Олимпийского спорткомплекса ЦСКА .....	51
Приложение № 2 - Пример расчета сжатой панели .....	55