

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФЕРМЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Методические указания и справочные материалы
к проекту по дисциплине
«Расчет и проектирование сварных конструкций»

Ростов-на-Дону
2022

УДК 621.791.052

Составители: Ю.Г. Людмирский, А.Н. Грицина, С.С. Ассауленко, А.Л. Черногоров

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства» выражает глубокую благодарность М.Н. Крумбольдту и В.Н. Фомину и отмечает, что настоящее пособие разработано на основе ранее опубликованных методических разработок этими авторами.

Методические указания и справочные материалы к проекту по дисциплине «Расчет и проектирование сварных конструкций».
– Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2022. – 52 с.

В пособии изложена методика проектирования и расчёт ферменных перекрытий, приведены справочные данные, необходимые для проектирования.

Предназначены для обучающихся направлений подготовки по программе бакалавриата 15.03.01 Машиностроение, профиль Оборудование и технология сварочного производств.

УДК 621.791.052

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор док. техн. наук, профессор Ю.Г. Людмирский

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Машины и автоматизация сварочного производства» канд. техн. наук, зав. кафедрой С.В. Нескоромный

В печать ____ . ____ . 2022 г.

Формат 60×84/16. Объем 0,6 усл. п. л.

Тираж ____ экз. Заказ № ____

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2022

Содержание

	Стр.
1 Требования к выполнению проекта	4
1.1 Состав проекта и требования к исполнению	4
1.2 Последовательность выполнения проекта	4
1.3 Сроки выполнения проекта	6
2. Фермы	6
2.1. Общие положения	6
2.2 Выбор типа фермы	7
2.3 Высота фермы	7
2.4 Длина панели верхнего пояса	7
2.5 Выбор типа раскосной решётки фермы	10
2.6 Особенности проектирования ферм нестандартной длины	10
2.7 Шаг ферм, температурные отсеки, длина цеха, не кратная шагу ферм	11
2.8 Определение узловых нагрузок	12
2.9 Определение расчётных усилий в стержнях фермы	13
2.10 Рекомендации и ограничения при подборе сечений элементов ферм	15
2.11 Подбор сечений	16
2.12 Унификация сечений	19
2.13 Проектирование узлов ферм	21
2.14 Проектирование опорных узлов ферм	25
2.15 Монтажные стыки ферм	25
3. Объединение ферм в пространственную геометрически неизменяемую систему (связи по фермам)	25
3.1. Общие положения	26
3.2. Типы сечений элементов связей	29
3.3. Связи по верхнему поясу	29
3.4. Вертикальные связи	
3.5. Горизонтальные связи по нижнему поясу ферм	31
4.6. Соединение ветвей элементов фермы	31
Приложение	33
Литература	48

1. Требования к выполнению проекта

1.1 Состав проекта и требования к исполнению

1.1.1. Графическая часть проекта состоит из двух листов формата А1 (формат 594х841 мм). По согласованию с преподавателем, ведущим проект, количество листов может быть сокращено или увеличено.

1.1.2. Чертежи, схемы и таблицы должны быть выполнены карандашом чётко и аккуратно в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.301-68 и др.).

1.1.3. Так как чертежи проекта выполняются не в полном объёме и без детализовок, то разрешается не прилагать спецификаций к листам.

1.1.4. В целях облегчения проверки расчётов и правильности проектирования косынок расчётную длину швов по перу и обушку уголка на чертежах сварных узлов обязательно обозначить кружком Ø1,5-2 мм, проставляемым в конце расчётной длины шва, прикрепляющего уголок к косынке (см. рис. 6).

1.1.5. К проекту прилагается пояснительная записка, в печатном виде, либо написанная чётко и разборчиво от руки. В записке приводятся и поясняются все расчёты, сделанные при проектировании.

1.1.6. При расчёте или описании узлов в записке обязательно вычерчивать все расчётные схемы усилий, эскизы узлов. Сечения элементов, входящих в узел, должны быть ясны из эскиза (дать сечения или обозначить их условно с указанием размеров элементов сечения, например: 75х75х6).

1.1.7. В записке приводится список использованной литературы. В тексте записки должны быть ссылки на литературные источники.

1.2. Последовательность выполнения проекта

1.2.1. Выбирается тип фермы и материал покрытия (в зависимости от назначения здания, см. п.п. 2.1.; 2.2.).

1.2.2. В зависимости от материала покрытия определяется уклон кровли (см. 2.1.) и длина панели верхнего пояса фермы. При покрытии крупнопанельными железобетонными плитами (промышленные здания) длина панелей соответствует ширине плит и составляет 1,5 либо 3 м, считая по горизонтали.

1.2.3. Определяется высота фермы в коньке (см. 2.3).

1.2.4. Выбирается тип решётки фермы (чаще встречается треугольная решётка со стойками, реже – раскосная) (см. п. 2.5).

1.2.5. Определяются нагрузки, прикладываемые к верхним узлам фермы (см. п. 2.8).

1.2.6. На первом листе чертежа слева вверху в масштабе 1:40÷1:100 вычерчивается схема фермы. На узлах фермы строят в масштабе узловые нагрузки. Если перекрытие цеха двускатное, то временные нагрузки прилагать только к одной, например, к левой половине фермы. Условно постоянные нагрузки от собственного веса металлоконструкций перекрытия прилагать к узлам верхнего пояса. На схеме фермы надписывают геометрические размеры стержней в мм. (Размеры подписать без выносных и размерных линий).

1.2.7. Определяют расчётные усилия в стержнях фермы и опорные реакции от постоянных и временных нагрузок, которые определяют с помощью программы «Ферма», заложенной в ЭВМ. Исходными данными для расчёта усилий в стержнях фермы являются: усилия от постоянных нагрузок, которые прикладывают ко всем верхним узлам фермы; временные нагрузки прикладывают только к верхним узлам левой части фермы. Полученные результаты заносят в таблицу 2.

1.2.8. Проектируют расположение связей, выбирают типы решётки для каждого из рядов вертикальных связей.

В нижней части первого листа, обычно в масштабе 1:200; 1:250, вычерчивают схемы расположения связей: план связей по верхнему и нижнему поясам, разрезы, показывающие ряды вертикальных связей.

1.2.9. Выбирают толщину фасонки (косынок) фермы (табл. 6).

1.2.10. Рассчитывают сечения стержней фермы (2.10). Расчётные сечения заносят в таблицу 2.

1.2.11. Рассчитывают по гибкости сечения стержней связей. Рассчитанные сечения заносят в таблицу 3.

1.2.12. Проводят унификацию сечений, принятых для перекрытия. Унифицированные сечения вносят в таблицу 2.

1.2.14. Рассчитывают швы, крепящие стойки и раскосы к фасонкам.

1.2.15. Рассчитывают швы, крепящие монтажные накладки.

1.2.16. Рассчитывают площадь опорной плиты. Назначают размеры и расположение отверстий под анкерные болты.

1.2.17. Рассчитывают швы, крепящие опорную фасонку и рёбра к опорной плите.

1.2.18. Определяют необходимое количество «сухарей» в растянутых и сжатых стержнях ферм, фонарей, связей (для стержней, состоящих из парных уголков).

1.2.19. Вычерчивают второй лист (формат А1). На этом листе помещают общий вид фермы в совмещённом масштабе: осевые линии вычерчиваются в одном из масштабов 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, а стержни и косынки вычерчиваются в более крупном (1:10, 1:20) масштабе, обеспечивающем наглядность. Оставшееся место занимают чертежами узлов фермы, проектирование которых задано руководителем. Узлы вычерчивают в масштабе 1:5.

1.2.21. Оформляется пояснительная записка. Записка должна быть в печатном виде, либо написана чётко, с расшифровкой буквенных обозначений формул.

2. Фермы

2.1. Общие положения

2.1.1. В перекрытиях промышленных зданий применяют стропильные фермы следующих типов (см. рис. 1):

а) полигональные фермы с пологим ($i < 1/5$) и крутым ($i \geq 1/5$) уклоном верхнего пояса. Сюда относятся и фермы с параллельными поясами, наклонными либо горизонтальными поясами.

Фермы с горизонтальными поясами применяются для зданий с плоской кровлей и как подстропильные фермы.

б) треугольные фермы – с прямым нижним поясом и треугольные с затяжкой. Разновидностью треугольных ферм являются фермы с переломом нижнего пояса, рекомендуемые для зданий с подвесным потолком. Треугольные фермы с прямым нижним поясом имеют крутой уклон верхнего пояса, так как угол между верхним и нижним поясом не может быть сделан меньше 20° (при углах меньше 20° трудно сконструировать прочный опорный узел). На рис. 1 для разных типов ферм указаны пределы отношения высоты h фермы в коньке к длине фермы L , при которых фермы имеют достаточную жёсткость (т.е. гарантируется, что прогиб от нагрузок не превышает $1/250$ пролёта фермы).

2.1.2. Выбор типа стропильной фермы определяется уклоном кровли. Требуемый уклон зависит от материала кровли:

а) рулонные материалы по железобетонным плитам

$i=1/8 \div 1/12$ ($\angle \alpha = 7 \div 5^\circ$);

б) кровельное железо по тёсу (для общественных зданий)

$i=1/4 \div 1/5$ ($\angle \alpha = 14 \div 11^\circ$);

в) асбоцементные волнистые листы

$i=1/4 \div 1/7$ ($\angle \alpha = 15 \div 8^\circ$);

г) черепица

$\angle \alpha \geq 30^\circ$.

2.1.3. Сопряжение ферм с колоннами может быть шарнирным или жёстким. Жёсткое (рамное) сопряжение может применяться в зданиях с металлическими колоннами. В зданиях со смешанным каркасом (колонны железобетонные) применяют только шарнирное опирание ферм. В данном учебном проекте рекомендуется применять только статически определимые фермы с шарнирным опиранием на колонны.

2.1.4. Опоры ферм при полётах до 36 м следует проектировать неподвижными.

2.1.5. Разбивка на отправочные элементы (ради возможности перевозки по железной дороге) необходима при длине фермы свыше 17,5 м. Обычно ферму разбивают на 2 отправочных элемента с монтажным стыком по середине. (Дополнительно об этом см. монтажные стыки).

2.2. Выбор типа фермы

Уклон верхнего пояса, как было сказано выше, зависит от материала кровли. Материал кровли выбирается в зависимости от назначения здания. Одноэтажные про-

мышленные здания, не имеющие подвесного потолка, должны иметь тёплую кровлю, их обычно покрывают железобетонными плитами, имеющими слой утеплителя (обычно это пенобетон). Толщина слоя утеплителя от 60 до 120 мм – разная для разных климатических зон. Плиты покрывают рулонными материалами (по асфальтовой стяжке). Такие кровли должны иметь уклон $1/8 \div 1/12$. При таком уклоне для промышленных зданий без подвесного потолка годятся только полигональные фермы. Обычно берут уклон ближе к $1/12$, что позволяет при меньшей высоте в коньке иметь достаточную высоту фермы в опорном сечении. Как правило, для цехов используют полигональные или мансардные фермы.

2.3. Высота фермы

2.3.1. Расчётная высота фермы h в коньке (по осям элементов на схеме) не должна превышать 3,8 м с тем, чтобы полная высота (с учётом размеров стержней и выступающих косынок) не выходила за пределы железнодорожного габарита 3,9 м.

2.3.2. Если длина фермы такова, что даже при предельно допустимом отношении h/L ($1/9$ для полигональной фермы и $1/10$ для ферм с параллельными поясами) высота фермы h выходит за пределы железнодорожного габарита, приходится идти на изготовление фермы на месте монтажа или на разбивку фермы (с помощью монтажных стыков) на габаритные секции с высотой менее 3,9 м.

2.3.3. Желательно, чтобы высота фермы на опоре $h_{\text{оп}}$ для полигональных ферм была в пределах $1/11 \div 1/15$ длины фермы. $h_{\text{оп}}$ вычисляется по принятой высоте в коньке и принятому уклону поясов и округляется с точностью до 100 мм. Стандартной для цехов в России является высота 2200 мм. Ей соответствует стандартный набор оконных переплётов.

2.4. Длина панели верхнего пояса

При покрытии плитами длина d панели верхнего пояса должна соответствовать ширине принятых плит. Так как в перекрытиях с плитами пояс имеет малый уклон, то равной 1,5 или 3 м берут горизонтальную проекцию панели. Истинная длина панели по оси верхнего пояса получается несколько большей, так что плиты устанавливаются с некоторым зазором (что удобно, так как иначе сварные швы, крепящие плиту к поясам ферм, мешали бы точной укладке следующей плиты). После укладки плит зазоры между ними заделываются цементными растворами.

2.5. Выбор типа решётки ферм

2.5.1. Три типа решётки ферм изображены на рис. 2.

2.5.2. Пределы оптимальных углов наклона раскосов к нижнему поясу α° приведены на рис. 2. Отклонение от оптимальных углов наклона до 10° в большую и меньшую сторону незначительно ухудшает работу раскосов. Отклонение от оптимального угла более чем на 10° не рекомендуется, так как ухудшает работу раскосов, ведёт к перегрузу их и затрудняет конструирование узлов.

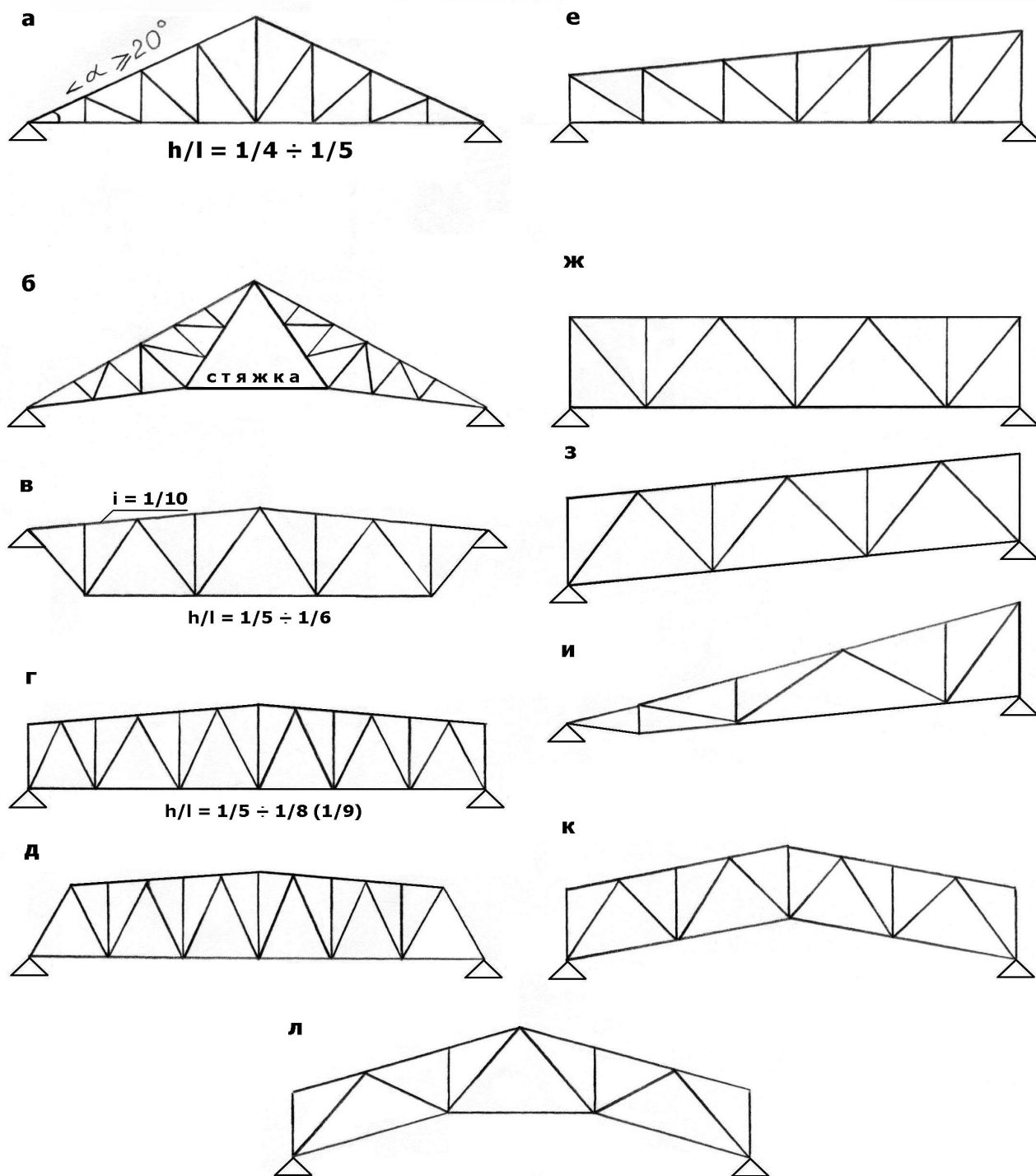


Рис. 1. Схемы стропильных ферм:

а – треугольная; б – треугольная с затяжкой; в – треугольная с переломом нижнего пояса; г, д, е, ж, з, и, к, л – полигональные; д – мансардная; е, з, и – односкатные; ж, з, к – полигональные с параллельными поясами; з, и – наклонные; к, л – полигональные фермы с крутым уклоном верхнего пояса.

Для ферм с параллельными поясами (ж, з, к, л) допускается h/L до $1/7$ (как исключение, до $1/100$).

2.5.3. Треугольная решётка (рис. 2, а) применяется редко (обычно во второстепенных и вспомогательных фермах). Недостатки этой решётки:

1) Много сжатых раскосов. 2) Панели сжатого верхнего пояса и растянутого нижнего пояса имеют одинаковую длину. 3) Вертикальные связи (кроме связей по торцам ферм) – не вертикальны. Они хуже работают и хуже смотрятся.

2.5.4. Треугольная решётка со стойками (рис. 2, б) – основной тип решётки стропильных ферм; её достоинство в том, что панели верхнего сжатого пояса вдвое короче, чем у нижнего, растянутого. Недостатки: 1) много сжатых раскосов; 2) много узлов, где сходятся 5 стержней; а такие узлы требуют больших косынок, особенно для размещения сжатых стержней, имеющих большие сечения.

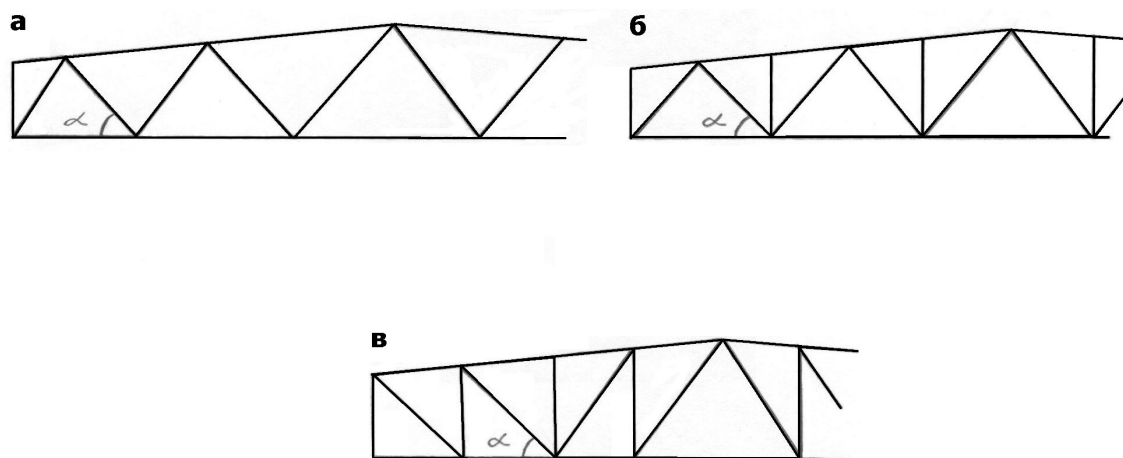


Рис. 2. Типы решётки ферм:

а - треугольная	$\alpha = 45 \div 50^\circ$;
б – треугольная со стойками	$\alpha = 45 \div 50^\circ$;
в – раскосная	$\alpha = 35 \div 50^\circ$

2.5.5. Раскосная решётка изображена на рис. 2, в. Направление раскосов в ней выбрано так, чтобы все раскосы под действием постоянных нагрузок работали только на растяжение. Это достигается при правильном выборе места перемены направления раскосов (у опор раскосы нисходящие; направление раскосов изменяется примерно на расстоянии $1/4L$ от опор для двускатных ферм и посередине односкатных). Если получили сжатый раскос в месте смены направления раскосов, то надо место смены направления сместить в сторону на одну панель пояса. В решётке этого типа есть один или два узла с 5 стержнями. Но конструировать их просто, ибо оба раскоса в этом узле растянутые и слабо нагружены. Поэтому сечения их невелики, а для крепления требуется мало сварочных швов. Чаще этот тип решётки встречается в перекрытиях с прогонами, но его можно успешно применять и в перекрытиях с крупнопанельными железобетонными плитами (беспрогонных).

2.5.6. Направление опорного раскоса (нисходящий или восходящий) зависит от принятого типа решётки (для раскосной – всегда нисходящий), от выбора схемы свя-

зей (горизонтальных и вертикальных) и от того, нужно ли иметь стойку под коньком (в середине фермы). С точки зрения проектирования и расчёта восходящий и нисходящий раскос равнозначны. Однако на практике конструкция опорного узла с восходящим раскосом встречается чаще.

2.6. Шаг ферм, температурные отсеки

2.6.1 Стандартный шаг ферм для промышленных зданий 6; 12 м. В данном учебном проекте рекомендуется использовать шаг 6 м.

2.6.2. Чтобы обеспечить свободное расширение и сжатие конструкций здания цеха при изменении температуры, при длине цеха свыше 60 м желательно, а при длине свыше 100 м обязательно разбивать его на температурные отсеки, каждый из которых может расширяться или сжиматься самостоятельно. Длина температурного отсека $60 \div 100$ м. Крайние фермы смежных отсеков опираются на самостоятельные колонны. Расстояние между продольными осями этих ферм обычно 400 мм.

2.7. Определение узловых нагрузок

2.7.1. Нагрузки на фермы прилагаются только к узлам. Нагрузки от собственного веса металлоконструкций условно прилагают к узлам верхнего пояса. К узлам нижнего пояса прилагают только нагрузки от подвесного потолка (если он есть) и от подвесного транспорта, если он крепится к фермам. Для определения расчётных нагрузок необходимо знать: вес кровли (см. приложение кровельные материалы), собственный вес металлоконструкций (см. табл. 1), вес людей, снеговую нагрузку и т.д.), задаваемых на 1 м^2 . Определяют площадь, поддерживаемую данным узлом верхнего пояса и нагрузку на эту площадь считают, приложенной к этому узлу.

2.7.2. Границы грузовой площадки для данного узла вдоль фермы – по половине расстояния до соседнего узла в обе стороны от данного, а вдоль цеха – по половине расстояния до узла соседней фермы – в каждую сторону (т.е. 2 раза по половине шага ферм). Таким образом, нагрузка на крайние узлы ферм будет меньше, чем на промежуточные.

Для крайних ферм температурного отсека и для фермы, отстоящей менее чем на полный шаг от торцевой стены цеха, фактическая нагрузка на узлы меньше, чем у остальных ферм. Но особого расчёта для этих ферм не делают. Все фермы перекрытия одинаковые, рассчитывают на полную нагрузку.

2.7.3. Нагрузки разделяются на:

А. Постоянные

- а) вес кровли с утеплителем (см. приложение);
- б) собственный вес металлоконструкций перекрытия (ферм, связей, и т.д. см. табл. 1);

Б. Временные

- а) снеговая нагрузка (условно слой снега в 1 см на 1 м^2 весит 1 кг), толщина снегового покрова проектанту задаётся, либо её берут в зависимости от географической зоны, где расположено проектируемое здание.

- б) вес людей (условный вес человека с инструментом принят 100 кг). На каждый узел фермы принимают 2-4 человека. На крайние узлы берут 1-2 человека;
- в) ветер (считается, что при угле кровли менее 30° ветер не оказывает давления на кровлю, и его в расчёте ферм не учитывают).

2.8. Определение расчётных усилий в стержнях фермы

2.8.1. Усилия в стержнях фермы определяют с помощью программы «ФЕРМА».

2.8.2. Исходной информацией для расчёта усилий в стержнях фермы служат следующие данные:

- а) тип фермы;
- б) угол верхнего пояса фермы;
- в) тип решётки;
- г) высота фермы на опоре.

Используя эти данные ЭВМ вычерчивает задуманную конструкцию фермы, после чего к узлам верхнего пояса фермы прикладывают узловые нагрузки.

Временные нагрузки (снег, люди) прикладывают только к одной (левой) половине двускатной фермы. После нажатия кнопки «Расчёт» на экране дисплея появляются величина усилия в каждом стержне фермы и его длина. Растягивающие усилия записывают со знаком плюс, сжимающие – со знаком минус. Все полученные результаты расчёта необходимо записать в таблицу 2.

Усилия во всех стержнях фермы от временной нагрузки, приложенной к левой половине фермы, заносят в колонку "снег слева"; колонка "снег справа" – заполняется путём переписывания нагрузки стержня, симметричного данному из колонки "снег слева". Нагрузки в колонке "снег по всему пролёту" – получают суммированием усилий из колонок "снег слева" и "снег справа".

Постоянные нагрузки прикладывают ко всем верхним узлам фермы. После нажатия кнопки «Расчёт» на экране дисплея появляются величина усилия в каждом стержне фермы, которые возникли в результате действия постоянных нагрузок. Все полученные результаты необходимо занести в таблицу 2.

2.8.3. Расчётное усилие определяется как усилие в данном стержне от постоянной нагрузки, сложенное с усилием от "снега слева" или "снега справа" или от "снега по всему пролёту" с учётом знаков усилий. Из трёх полученных сочетаний усилий в качестве расчётного берут наихудшее (наибольшее). Обычно это суммарное усилие, наибольшее по абсолютной величине. Однако, если наибольшим суммарным усилием оказалось растягивающее, а среди других сочетаний есть и сжимающее усилие (пусть даже очень небольшое по абсолютной величине), то расчётным может оказаться именно сжимающее усилие. Если сечение стержня, принятое из условия предельной гибкости λ , допускаемой для сжатых стержней, окажется больше, чем сечение этого стержня, рассчитанное по растягивающей суммарной нагрузке. В этом случае в колонку "расчётное усилие" сначала вписывают оба усилия (например, +8160кг/-200кг). После расчёта сечения, когда в записке определя-

ли, какое из усилий действительно оказалось расчётным, ненужное усилие следует зачеркнуть.

2.8.4. Геометрическая длина l каждого стержня заносится в таблицу 2.

2.8.5. Расчётная длина стержней l_o (приведённая свободная длина) определяется для каждого стержня в плоскости и из плоскости фермы. При этом для поясов свободная длина равна расстоянию между закреплениями (узлами – в плоскости фермы, прогонами или распорками, для длины – из плоскости). Опорные стойки и опорные раскосы имеют $l_o = l$, как в плоскости, так и из плоскости фермы. Прочие стойки и раскосы имеют в плоскости фермы $l_o = 0,8l$, за счёт частичного заземления в узлах (см. табл. 5).

2.8.6. Толщина косынок выбирается по усилию в опорном раскосе (см. табл. 6). Толщина косынок существенно влияет на величину момента инерции пары уголков относительно свободной оси (см. табл. 10, 12 и 13).

2.8.7. Типы сечений элементов ферм наиболее распространённые приведены на рис. 3. Для сжатых элементов выбор типа сечения диктуется оптимальным соотношением I_x и I_y . Это особенно важно для верхнего пояса, так как при расчёте из плоскости фермы для поясов $\lambda_y = l_y/r_y$, а l_y может быть в пределах $(1 \div 4)d$, где d – длина панели верхнего пояса.

2.9. Рекомендации и ограничения при подборе сечений элементов ферм

2.9.1 Элементы стропильных ферм рекомендуется проектировать из двух уголков, соединённых в виде тавра (рис. 3, а, б, в, о, п, ц) или в виде швеллеров, труб, двутавров (рис. 3, ж, л, н) и т. п. Применять основные элементы из одиночных уголков не рекомендуется ввиду их малой жесткости и эксцентриситета усилия относительно узлов фермы. Сечения из одного уголка (рис. 3, щ) часто применяются в элементах связей.

2.9.2. Верхний пояс ферм чаще проектируют по типу рис. 3 а или 3 в. При горизонтальной завязке верхнего пояса реже, чем через узел, пояс следует проектировать из двух неравнобоких уголков, соединённых меньшими полками (рис. 3 б).

2.9.3. Нижний пояс фермы, ради повышения жёсткости при изгибе из плоскости фермы, следует проектировать из равнобоких уголков или даже из неравнобоких, соединяемых узкими полками.

2.9.4. Стойки ферм, к которым крепятся вертикальные связи, рекомендуется проектировать крестового сечения (по рис. 3 ш) из двух уголков сечением не менее 63х63х6 или 75х75х5, так как эти элементы ослаблены отверстиями под болты крепления связей.

2.9.5. Сжатые опорные раскосы рекомендуется проектировать из двух неравнобоких уголков, соединяемых широкими полками (рис. 3 ч), так как в этом случае $r_x \approx r_y$.

2.9.6. В строительных конструкциях применяют уголки сечением не менее 45х45х5, чтобы избежать погнутостей при погрузке, перевозке и монтаже.

2.9.7. При подборе из сортамента уголков по рассчитанной площади сечения во всех случаях следует предпочитать более широкополые и тонкостенные профили (у них больше I_x , I_y , r_x , r_y , что обеспечивает меньшую гибкость элементов и большие коэффициенты φ). В конечном итоге материал используется более экономно.

2.9.8. Ради долговечности перекрытия в условиях коррозии толщина уголков берётся не меньше 5 мм.

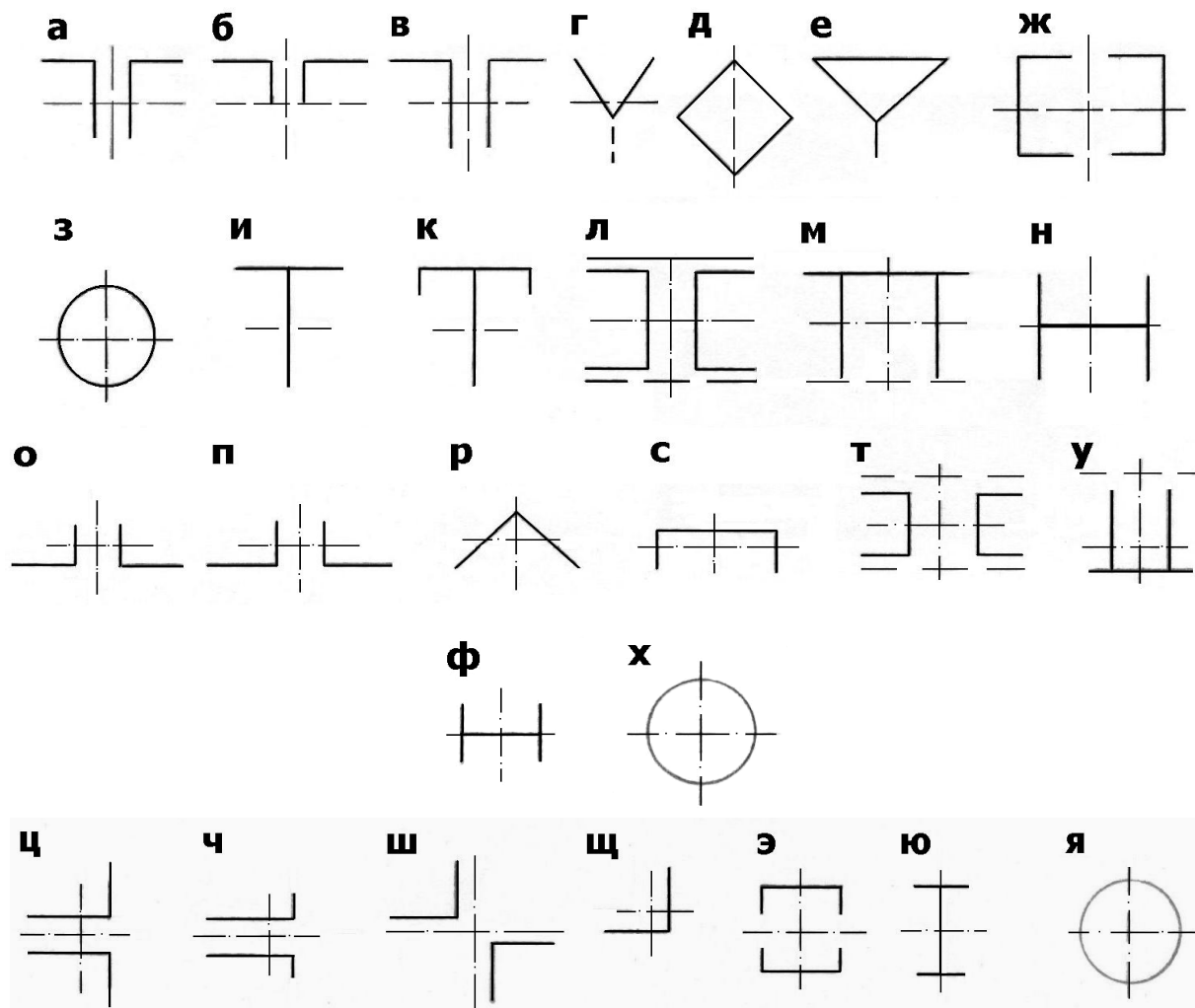


Рис. 3. Типы сечений элементов ферм и связей

2.10. Подбор сечений

Выбирая тип сечения элементов фермы необходимо стремиться к тому, чтобы отношение радиусов инерции сечения r_x/r_y было бы близко к отношению длин элементов в плоскости и из плоскости фермы l_x/l_y .

2.10.1. Размер сечения растянутых стержней подбираем по формуле:

$$F_{mp} = \frac{N}{|\sigma|_p},$$

где F_{mp} – требуемое сечение в см^2 ;

N – расчётное усилие кГс, Н, кН;

$|\sigma|_p$ – допускаемые напряжения при растяжении $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, МПа

Если выбранное сечение состоит из парных уголков, то подбираем из сортамента уголки с площадью, близкой к $F_{тр}/2$. Подобранные сечение проверяют по $\sigma = \frac{N}{2F} \leq |\sigma|_p \pm 5\%$ (недогруз более 5% допустим, если оправдан), где F – площадь уголка.

2.10.2. Подбор сечений сжатых элементов ведут по формуле:

$$F_{mp} = \frac{N}{|\sigma|_p \cdot \varphi}$$

где φ – коэффициент продольного изгиба.

Для начала подбора сечения следует принять:

для сжатых поясов и опорных раскосов $\varphi = 0,65 \div 0,8$;

для прочих сжатых элементов решётки $\varphi = 0,5 \div 0,6$.

Подобрав уголок из сортамента для пары уголков определяют:

$$F = 2F_1; r_x \text{ и } r_y,$$

значения r_y для сечений, состоящих из 2-х уголков, разделённых косынками или сухарями разной толщины, даны в табл. 12, 13. Затем по l_o в плоскости и из плоскости фермы определяют $\lambda_x = \frac{l_o}{r_x}$ и $\lambda_y = \frac{l_o}{r_y}$ и для парных уголков приведённую гибкость

$\lambda_{yo} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{yb}^2}$, где λ_{yb} для сжатых элементов принимают $30 \div 40 \cdot r_x$. После этого, по

таблице 11 находят φ_x и φ_y и проверяют $\sigma = \frac{N}{F\varphi_{мин}} \leq |\sigma|_p \pm 5\%$ (*Перегруз свыше 5% недопустим, а недогруз более 5% допустим только, если оправдан*). Например, если в сортаменте отсутствуют уголки, обеспечивающие $\sigma = |\sigma|_p \pm 5\%$).

2.10.3. Сечение поясов ферм подбирают по усилию в наиболее нагруженной панели. Если в других участках пояса расстояние между закреплениями из плоскости фермы больше, чем на участке с наиболее нагруженной панелью, то для этих участков надо проверить прочность выбранного сечения с учётом меньшей нагрузки, но большей гибкости из плоскости фермы.

2.10.4. Изменять сечения поясов по длине ферм не рекомендуется. В ферме длиной свыше 27 м разрешается менять сечение при условии, что эксцентриситет e осей уголков не превышает $1/50$ высоты полки меньшего из стыкуемых уголков (см. рис. 4).

2.10.5. Предельная гибкость каждого из элементов перекрытия ограничена (см. табл. 7) и должна обязательно проверяться как в плоскости, так и из плоскости фермы.

2.10.6. Гибкость растянутых элементов ограничена, чтобы ограничить их провисание, а также колебания при динамических нагрузках.

2.10.7. При проверке гибкости из плоскости фермы для растянутых элементов составного сечения необходимо определять приведённую гибкость

$$\lambda_{yo} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_s^2},$$

где λ_s – гибкость ветви ≤ 80 (определяется длиной ветви между сухарями).

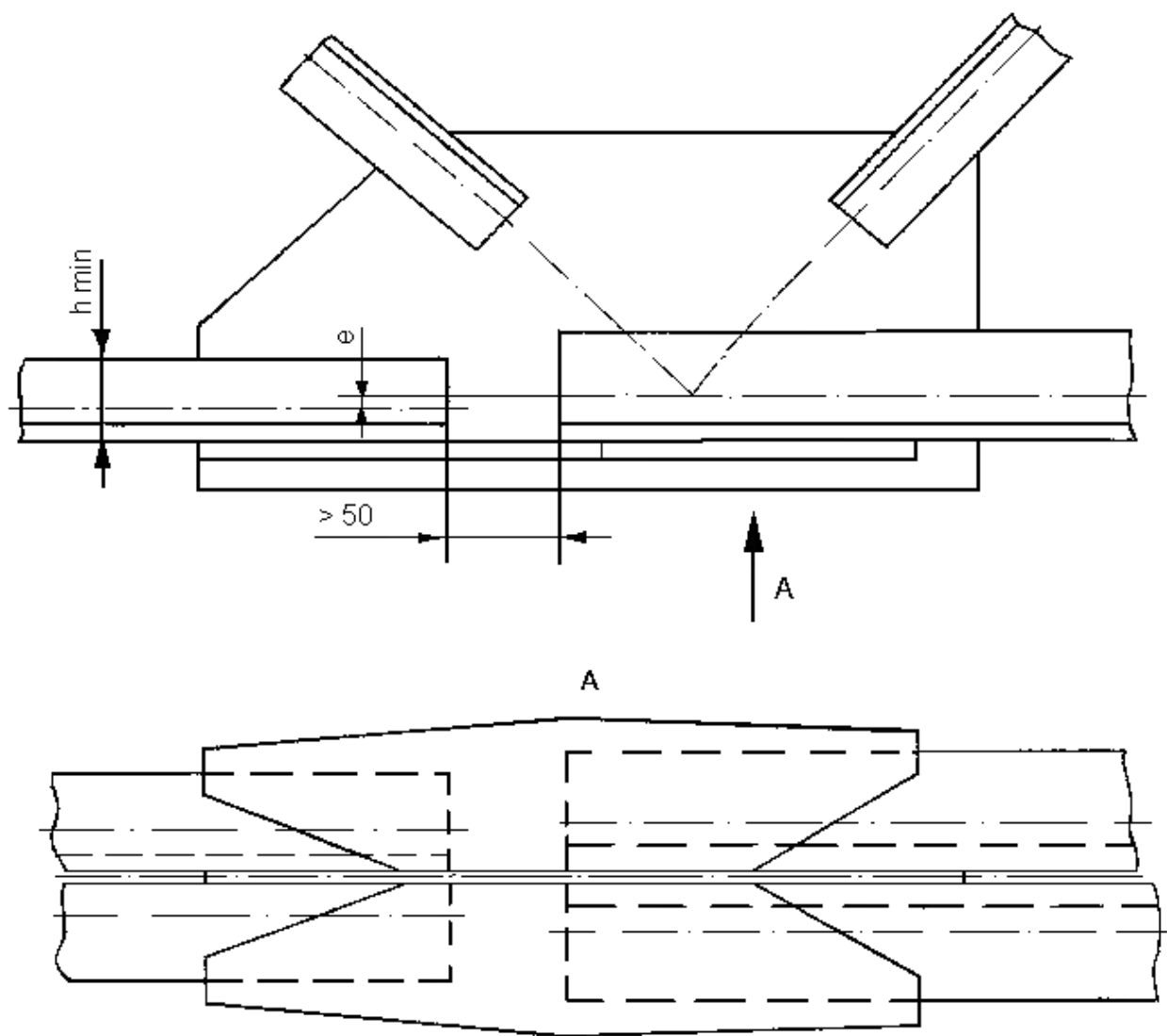


Рис. 4. Конструкция стыка при изменении сечения пояса
($e < 1/50h_{\min}$)

2.11. Унификация сечений

2.11.1. Количество различных уголковых профилей, идущих на изготовление перекрытия (ферм, связей, распорок) должно быть 5-6, но не более 6-8. С этой целью после расчёта сечений проводят их унификацию. Увеличение веса конструкций за счёт унификации профилей не должно превышать 3-5%.

2.11.2. При унификации без изменения остаются максимальные и минимальные 50x50x5 или 45x45x5 профили. Остальные профили объединяются в группы, внутри которых все меньшие профили заменяют максимальными в группе.

2.11.3. Разбивку на группы производить так, чтобы завышение веса перекрытия в конечном итоге было минимальным. Для этого в каждой группе объединяют не просто профили, близкие по размерам, а так, чтобы в группе максималь-

ным оказывался наиболее массовый профиль, т. е. такой, какого на данное перекрытие идёт больше других.

2.12. Проектирование узлов ферм

2.12.1. В данном проекте рекомендуется применять узлы с косынками, примеры которых даны на рис. 5.

2.12.2. Проектирование узла начинаем с расчёта необходимой длины швов по обушку и по перу каждого присоединяемого уголка.

2.12.3. Если присоединяемый стержень состоит из двух уголков, то через каждый из них передаётся усилие $N = N/2$, где N – расчётное усилие в стержне фермы. Необходимая доля этого усилия, которая должна передаваться через шов по перу и через шов по обушку, зависит от типа и положения уголка (см. табл. 8).

2.12.4. Катеты швов должны быть не менее 4 мм. Так как размеры косынок зависят от длины швов, то желательно брать катет побольше. Однако катет шва по перу нельзя брать более 0,8 толщины пера (положить шов большего катета нельзя из-за радиуса закругления пера), шов по обушку (и по торцу уголка) обычно берут того же катета, что и по перу. Иногда, чтобы сократить длину шва по обушку, там укладывают шов большего катета вплоть до $K = 1,2\delta$, где δ – толщина пера уголка. Однако, если конструктивный размер фасонки (косынки) оказывается значительно больше расчётной длины шва, катет последнего уменьшают, так как шов накладывается по всей длине сопряжения фасонки с поясом.

При этом производят проверочный расчёт.

2.12.5. Расчёт длины швов, прикрепляющих элемент решётки к узловой косынке (фасонке). Если катет шва по перу и по обушку принят одинаковый, то общая необходимая длина швов:

$$l = \frac{N}{\beta K |\tau'|},$$

где N – расчётное усилие, приходящееся на один уголок; (для парных уголков $N=N/2$) кгс, Н, кН;

l – расчётная длина швов, см;

K – величина катета углового шва, см (см. п. 2.12.4);

$|\tau'| = 0,6|\sigma|_p$ – допускаемое напряжение для шва при срезе (для Ст3 $|\tau'| = 0,6 \times 160 = 96$ МПа);

β – коэффициент проплавления зависит от способа сварки;

$\beta = 0,7$ – для ручной;

$\beta = 0,8$ – для полуавтоматической и CO_2 ;

$\beta = 1,0$ – для автоматической.

Расчётная длина швов по обушку и перу уголка пропорциональна усилиям, приходящимся на данный шов и определяется, как

$$l_{\phi л} = c(l - l_m),$$

где $l_{\phi л}$ – длина шва по перу или обушку;

l_m – длина шва по торцу уголка. (Этот шов накладывается обязательно);

c – коэффициент, определяющий долю усилия, приходящуюся на данный шов (см. табл. 8).

Если катет шва по обушку больше, чем катет шва по перу, то расчёт минимально необходимых длин этих швов ведётся отдельно по усилиям, приходящимся на эти швы. В любом случае фланговые швы должны быть не менее 40 мм.

2.12.6. Торцы уголков всех элементов фермы обрезаны перпендикулярно оси элемента. Допуск на длину ± 5 мм.

2.12.7. Проектирование узловой косынки ведём графически (см. рис. 5):

- наносим оси стержней (все они должны пересекаться в центре узла);
- в масштабе наносим ширину элементов;
- элементы решётки располагаем не ближе 50 мм от уголков пояса и так, чтобы торчащее перо соседнего элемента не мешало сварке данного элемента, а соседние швы перьев, прилегающие к косынке, были не ближе 20 мм друг от друга;

- на элементы решётки, откладывая от их торцов, наносим в масштабе расчётные длины швов $l_{об}$ и l_n). В данном учебном проекте их обязательно обозначить кружочками $\varnothing 1-1,5$ мм (для наглядности и для облегчения проверки руководителем проекта и комиссией при защите);

- намечаем контур косынки по внешним границам швов. За исключением опорных и коньковых узлов и узлов монтажных стыков, все косынки предпочтительнее делать прямоугольными (они дешевле в изготовлении и их раскрой даёт меньше отходов). Допускаются косынки с одной скошенной стороной (молотковые). В любом случае косынка должна иметь две параллельные стороны;

- торцы элементов, оба окончания швов которых оказались внутри контура косынки, отодвигаем от центра узла так, чтобы граница расчётной длины швов вышла на контур косынки (это позволит избежать лишних швов и сэкономит материал, уменьшив фактическую длину уголков);

- косынки для удобства сварки выпускаем за пояс на 10-15 мм (но не менее, чем на $2K$ шва). Исключение составляют утопленные косынки узлов верхнего пояса (см. п.п. 2.12.9 и 2.12.10);

- измеряем (в масштабе) полученные размеры косынки и наносим на чертёж узла, а получившиеся фактические длины уголков решётки наносим на чертёж общего вида фермы (на втором листе проекта). Следить, чтобы нахлестка уголка решётки на обе косынки, к которым он присоединён, была одинаковой;

- проверяем прочность шва, прикрепляющего пояс к косынке. Шов по обушку уголка пояса должен выдерживать не менее 0,7 (0,65; 0,75) усилия, передающегося на косынку через пояс. Шов по перу уголка пояса не проверять, однако в запас прочности его назначают сплошным на всю длину косынки.

2.12.8. Усилие, передающееся с пояса на косынку, следует рассчитать как разность усилий в стержнях поясов, подходящих слева и справа к узлу, т.е.

$$\Delta N_{узла} = N_{лев} - N_{прав}$$

Эта разность образована усилиями, действующими на фасонку, со стороны подходящих к узлу раскосов и стремящимися сдвинуть её относительно пояса.

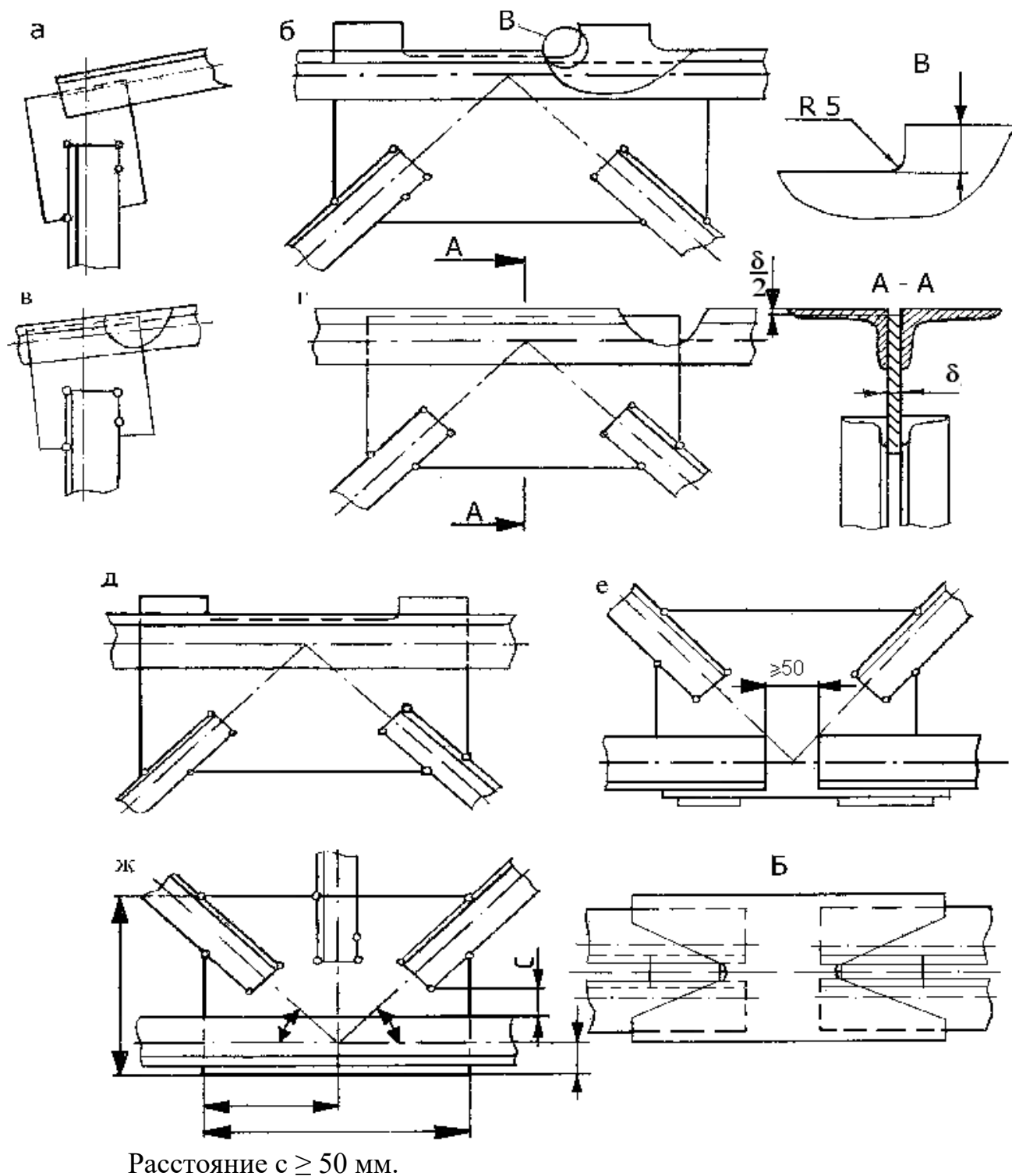


Рис. 5. Примеры конструкции узлов с прокладками:

а, в, г – косынки верхнего пояса утоплены; б, д, – косынки пояса с вырезом;
 е – стык нижнего пояса с листовой накладкой; ж – пример простановки размеров.

Исключения:

- если пояс имеет на узле перелом, то берётся геометрическая сумма усилий в поясе слева и справа от узла и швы, прикрепляющие пояс к косынке, рассчитывают на это усилие;

- если пояс прерывается на косынке (конструктивный стык в связи с изменением сечения (см. рис. 4) или технологический стык по типу рис. 5 е и имеются накладки, соединяющие стыкуемый пояс (накладки необходимы, чтобы сохранить жёсткость пояса в том месте, где прерываются уголки пояса), то в этом случае условно считать, что через накладки передаётся 0,7 меньшего из усилий, подходящих по поясу к узлу справа и слева. Швы, прикрепляющие концы уголков пояса к узловой косынке, надо проверить на разность между усилием в поясе с данной стороны и усилием, передаваемым через накладки. (Это усилие, передающееся с пояса на косынку, распределяется между швами по обушку и по перу уголка пояса в соответствии с таблицей 8). Для монтажных стыков этот случай рассмотрен ниже.

2.12.9. Конструкция узлов верхнего пояса отличается тем, что в местах опирания прогонов или железобетонных плит перекрытия косынки не должны выступать над уголками пояса, (иначе они мешали бы установке прогонов или плит). Поэтому косынки узлов верхнего пояса конструируют по одному из двух вариантов:

- утопленные косынки по рис.5, а, в, г. Косынка утапливается точно на половину своей толщины и приваривается к уголкам пояса (по обушку) двумя самостоятельными угловыми швами с катетом $K = \delta_{кас}/2$ (см. разрез АА рис. 5, г);

- косынки с вырезом по типу рис. 6, б, а несколько дороже в изготовлении, зато швы, соединяющие их с поясом, варить удобнее (от чего они более надёжны), а катет шва на этих участках может быть значительно больше, чем $\delta_{кас}/2$.

2.12.10. Особенности расчёта швов, соединяющих верхний пояс с косынкой:

- если косынка утоплена, то швы по обушку уголков лежат ближе к оси уголка и должны воспринимать не менее 0,8 усилия, переходящего с пояса на косынку (см. п. 2.12.8);

- если косынка с вырезом, то швы по обушку уголков пояса (по выступающим участкам косынки) должны воспринимать долю усилия $\Delta N_{узла}$ в соответствии с табл. 8);

- если к узлу верхнего пояса приложена сосредоточенная нагрузка, то условно считают, что вся она передаётся на косынку через швы по перу уголков пояса. Расчёт швов по перу вести на всю вертикальную нагрузку P и на $0,2\Delta N_{узла}$.

2.13. Проектирование опорных узлов фермы

Примеры конструкций опорных узлов показаны на рис. 6.

2.13.1. При проектировании опорных узлов необходимо соблюдать два дополнительных правила:

а) опорная реакция должна проходить через центр узла (т. е. геометрический центр опорной плиты должен быть под центром узла);

б) сжатый опорный раскос или сжатый верхний пояс должны проходить над опорной реакцией, не прерываясь, чтобы исключить потерю устойчивости в опорной косынке

2.13.5. Вертикальные рёбра над опорной реакцией обязательны, чтобы избежать потери устойчивости косынки. При восходящем раскосе ребра довести до торчащих в стороны перьев уголков раскоса и приварить к ним (см. рис.6 а).

2.13.6. Швы, прикрепляющие опорную косынку и рёбра к плите, проверить на усилие, равное опорной реакции. Катет этих швов брать не менее 6 м. Швы, прикрепляющие рёбра к опорной косынке и к опорному раскосу, проверить на усилие, равное половине опорной реакции.

2.13.7. Опорная косынка обычно имеет большие размеры и делается фигурной.

2.13.8. Для уменьшения размеров опорной косынки разрешается косо срезать вертикальное перо уголка нижнего пояса, чтобы продвинуть этот уголок ближе к центру узла.

2.13.9. Прикрепление опорного раскоса обычно требует наложения большого количества швов. Следить, чтобы расчётная длина шва по обушку была не более 50 К, где К - катет углового шва по обушку.

2.13.10. Если швов, прикрепляющих опорный раскос, не хватает для передачи усилия, то часть усилия можно передавать через высокопрочные болты. Расчёт усилия, воспринимаемого одним болтом см. в приложении III.

Примечание: в нашем примере болт работает как двусрезный, и усилие, вычисленное по приложению III надо удвоить.

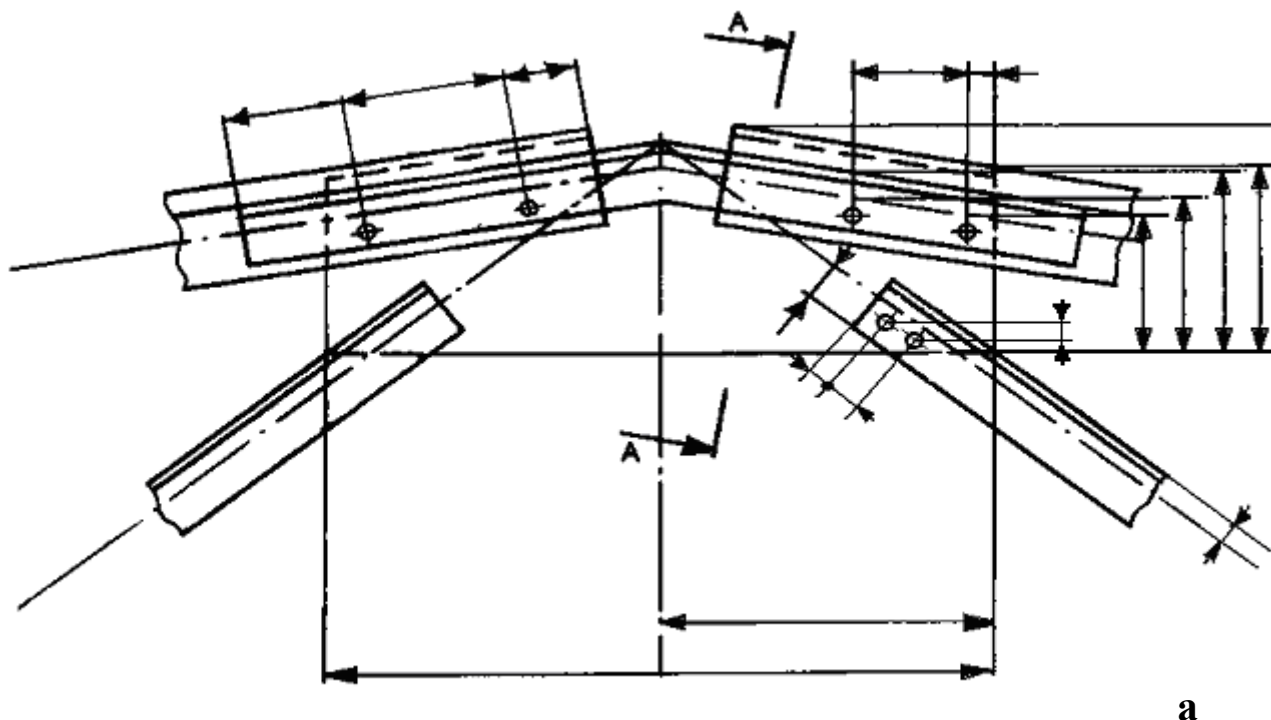
2.14. Монтажные стыки ферм

2.14.1. Монтажные стыки служат для разделения ферм большого размера на габаритные справочные элементы, позволяющие перевозку по железной дороге, или для удобства монтажа.

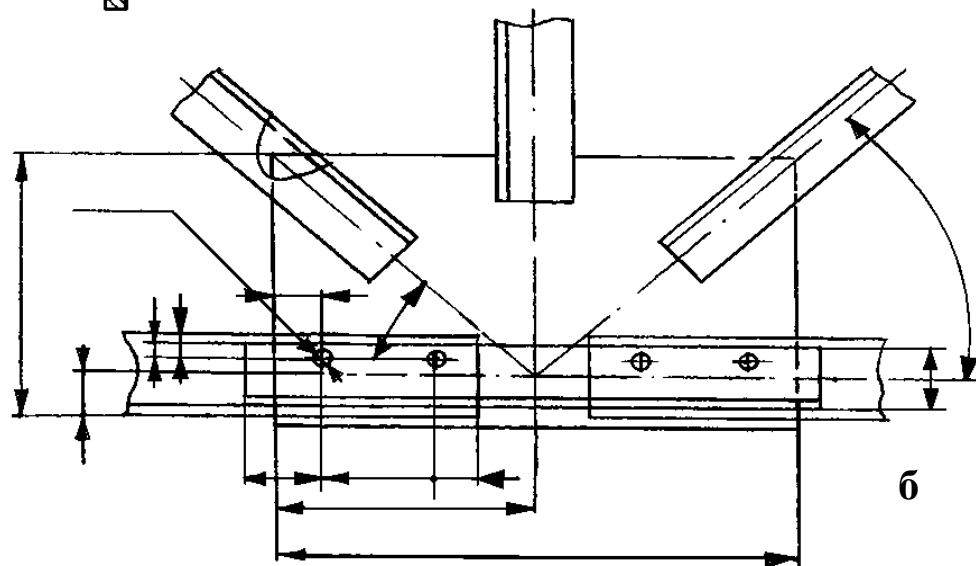
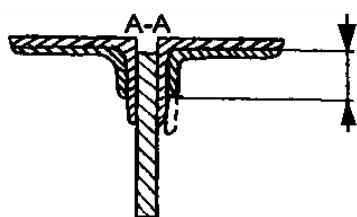
2.14.2. Монтажные стыки верхнего и нижнего поясов ферм, как правило, располагают в средней части ферм. Чтобы сохранить жёсткость в стыке, их обычно перекрывают парными накладками из уголков или листовыми накладками. Если коньковый узел имеет столик для крепления фонаря, то роль жёсткости выполняет тавровая косынка столика с $I_{y}^{столлика} \geq I_y$ верхнего пояса. Примеры конструкции монтажных стыков верхнего и нижнего поясов с накладками даны на рис. 7.

На заводе выполняется лишь часть швов монтажного стыка, другая часть швов выполняется на площадке при укрупнительной сборке. Во избежание двойной вилки стыковые уголки (накладки) и узловую фасонку нельзя присоединять к одной отправочной марке. В полках уголков монтажных стыков ферм необходимо предусмотреть отверстия для сборочных болтов.

Стыковочные уголки обычно принимают такого же профиля, что и стыкуемые уголки поясов. Срезка части вертикальной полки стыковых уголковых накладок компенсируется площадью узловой фасонки (прокладки). В этих условиях проверка напряжений в элементах стыка не требуется. Расчёт сварных швов, прикрепляющих уголковые накладки, производится по формуле:



а



б

Рис. 7 а, б. Монтажные стыки фермы на общих косынках с накладками из уголка: а – стык верхнего пояса; б – стык нижнего пояса.

$$\tau = \frac{N_n}{4\beta kl} \leq |\tau'|,$$

где N_n – усилие в панели пояса, примыкающей к стыку.

Если накладки в монтажном стыке уголковые, то швы, соединяющие узловую фасонку с поясом, условно рассчитывают на передачу 15% от усилия в поясе, а швы, соединяющие накладку с поясом – на полное усилие в поясе. В сварных стыках из уголков крупного профиля (с шириной полок 130 мм и более) в целях более равномерной передачи усилий рекомендуется применять угловые накладки со скошенными полками (косой срез перьев, чтобы изменение сечения было менее резким).

2.14.3. В стыке с листовыми накладками последние присылаются отдельно. Все швы, присоединяющие такие накладки, провариваются на монтаже, после сборки на монтажных болтах, выверки и подтяжки болтов до полного закрытия зазоров.

2.14.4. Швы по торцу накладок (листовых и уголковых) не делать!

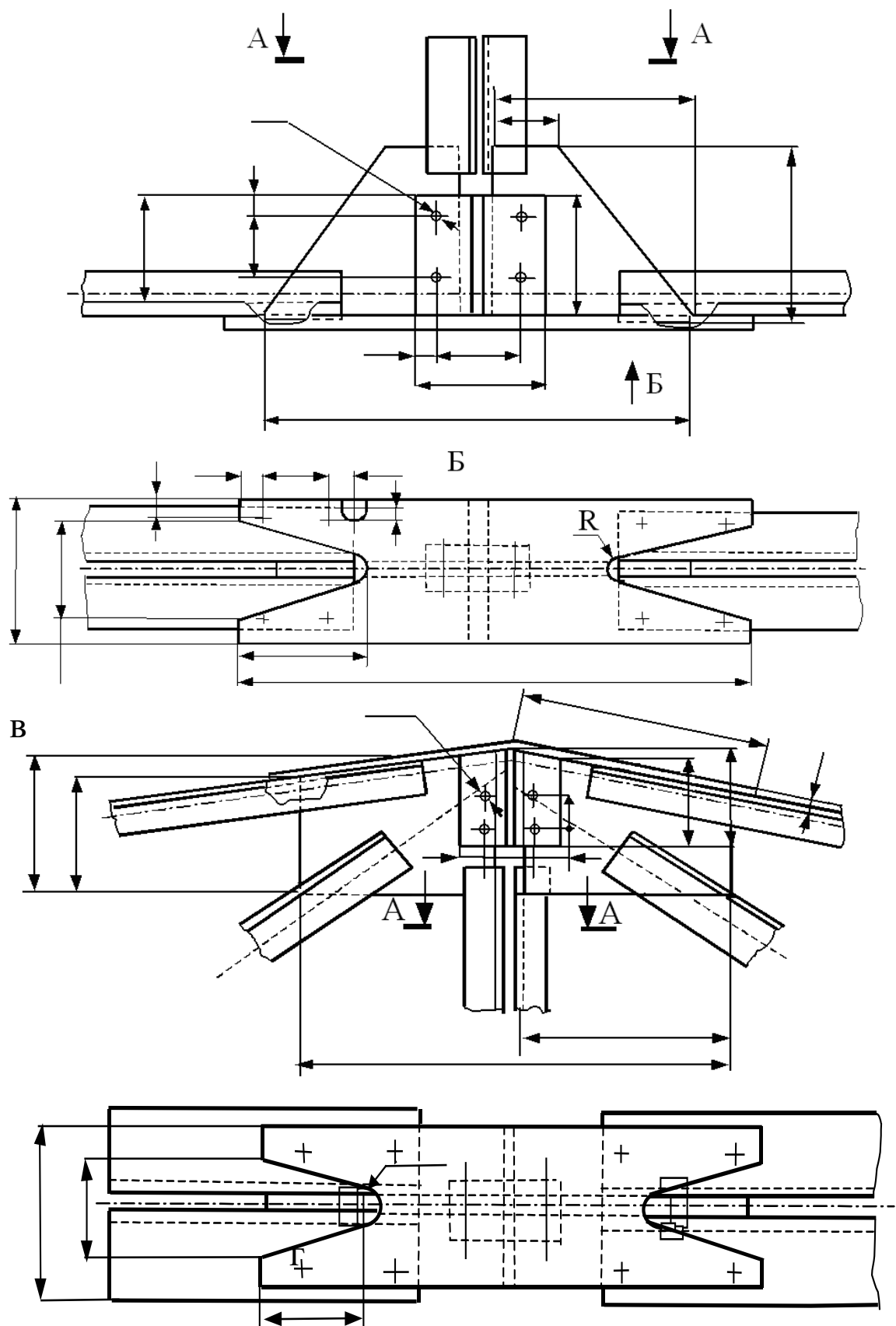
2.14.5. Швы, прикрепляющие листовую накладку к каждой из стыкуемых половин фермы, рассчитывают по формуле:

$$\tau = \frac{0,8 N_n}{\beta K \sum l_i} \leq |\tau'|,$$

где N_n – усилие в поясе; $\sum l_i$ – суммарная длина участков швов, присоединяющих накладку к одной половине фермы. В этом случае швы, присоединяющие пояс к косынке и монтажные швы накладок, соединяющих отдельные узловые косынки половин фермы (рис. 7, в, г) – проверить (раздельно) на условное усилие $0,3N_n$.

2.14.7. В монтажном стыке для каждой пары поверхностей стыкуемых элементов необходимо предусмотреть не менее двух отверстий под монтажные болты для облегчения наводки и совмещения стыкуемых элементов и для поочерёдной подтяжки болтов.

Внимание! В парных уголках отверстия в вертикальных перьях под монтажные болты должны находиться в пределах узловой косынки. Иначе при затяжке болтов уголки погнутся.



Г

Рис. 7, в, г Монтажные стыки фермы на отдельных косынках, накладки листовые: в – стык нижнего пояса; г – стык верхнего пояса.

3. Объединение ферм в пространственную, геометрически неизменяемую систему (связи по фермам)

3.1. Общие положения.

3.1.1. Связи по фермам перекрытия служат для объединения ферм (жёстких только в своей плоскости) в жёсткую, пространственную, геометрически неизменяемую систему.

3.1.2. Применяются три вида связей:

а – горизонтальные связи по верхнему поясу;

б – вертикальные связи (другие названия этих связей: монтажные, поперечные);

в – горизонтальные связи по нижнему поясу ферм.

3.1.3. Усилия в элементах (стержнях) связей, как правило, не известны. Поэтому расчёт сечений элементов связей ведут по предельной гибкости

($\lambda \leq 200$ – для сжатых связей; $\lambda \leq 400$ – для растянутых).

3.1.4. Подбор сечений элементов связей ведём по гибкости

$$r_{\min} \geq \frac{l_0}{\lambda_{\max}},$$

где l_0 – приведённая свободная длина элемента.

Для выбранного типа сечения по r_{\min} подбираем уголки из сортамента. Допускается брать уголок с r_{\min} заниженным до 5% против минимального, требуемого по расчёту.

3.1.5. Если сечение элемента состоит из одного равнобокого уголка, то для сжатых элементов за r_{\min} принимается r_{yo} . Для растянутых элементов разрешается за r_{\min} брать r_x уголка (так как гибкость $\lambda \leq 400$ назначена для ограничения провисания под действием собственного веса элемента, в направлении силы тяжести перпендикулярно оси x).

3.2. Типы сечений элементов связей

3.2.1. Сжатые элементы:

а) распорки, а также пояса фермочек вертикальных связей, не имеющие промежуточных узлов, и длинные стойки вертикальных связей делать крестового сечения из двух равнобоких уголков;

б) элементы фермочек вертикальных связей, для которых свободная длина l_0 ($l_0 = d$ или $l_0 = 0,8l$) в плоскости фермочки меньше, чем свободная длина при изгибе из плоскости фермочки (например, пояса с промежуточными узлами, неперекрещивающиеся раскосы, центральные стойки фермочек вертикальных связей), делать таврового сечения из двух равнобоких уголков;

в) короткие сжатые элементы вертикальных связей можно делать и из одиночных равнобоких уголков (гибкость λ считать по r_{yo}).

3.2.2. Растянутые элементы.

Диагонали крестовых связей и перекрещивающиеся раскосы вертикальных связей, как правило, изготавливают из одиночных равнобоких уголков. Однако и

здесь, в длинных элементах, рассчитываемых по допустимой гибкости, иногда удастся получить значительную экономию веса, заменяя одиночный уголок крестовым сечением из двух равнобоких уголков.

3.2.3. Толщина косынок и сухарей связей не зависит от толщины косынок фермы (для всех видов связей и распорок можно принять её 10 мм), для цехов лёгкого типа и навесов – 8 мм.

3.2.4. Оси элементов связей могут отклоняться от центра узла фермы, к которому крепится связь (т.е. схождение осей всех элементов в центре узла фермы для связей не обязательно).

3.2.5. Крепление связей к узлам фермы осуществляется монтажными болтами (обычно М16). Для крепления в ферме связь заканчивается косынкой. К поясам косынки связей, как правило, должны прилегать с нижней стороны. Каждый элемент крепится не менее чем двумя болтами для удобства наведения и подтяжки соединения.

3.2.6. После окончательной сборки и выверки всего температурного блока перекрытия связи разрешается приварить к фермам. Но при этом провариваются только швы, идущие вдоль поясов и других элементов фермы.

3.2.7. При конструировании связей, особенно при постановке размеров, надо учитывать, что распорки крепятся к полкам поясов и их истинная длина короче, чем шаг фермы. Фермочки вертикальных связей, а иногда и распорки рядов вертикальных связей крепятся к перьям уголков вертикальных стоек фермы, в которых отверстия находятся в 25÷30 мм от кромки пера и не ближе 30 мм от торца уголка стойки. Это существенно влияет на геометрические размеры фермочек вертикальных связей и на расчётные и фактические длины их элементов. Типы узлов крепления связей показаны на рис. 15, 16, 17.

3.2.8. Образмеривая связь, обязательно, кроме габаритных размеров проставлять размеры по крепёжным отверстиям, ведь именно эти последние размеры являются сопряжёнными с размерами примыкающих конструкций.

3.2.9. Конструкцию распорок во всех видах связей принимать по рис. 9 (обратить внимание на разметы сухарей и их расположение).

3.3. Связи по верхнему поясу

3.3.1. Эти связи препятствуют изгибу сжатых поясов ферм из плоскости фермы. Такой изгиб недопустим, так как узловые нагрузки при любом смещении узлов фермы в сторону создают момент, приводящий к разрушению перекрытия.

3.3.2. Связи по верхнему поясу устанавливают между верхними поясами смежных ферм. Связи по верхнему поясу следует предусматривать в концах каждого температурного блока. Рекомендуется совмещение связей по верхнему и нижнему поясу и вертикальных связей в одной паре ферм, называемой связной панелью.

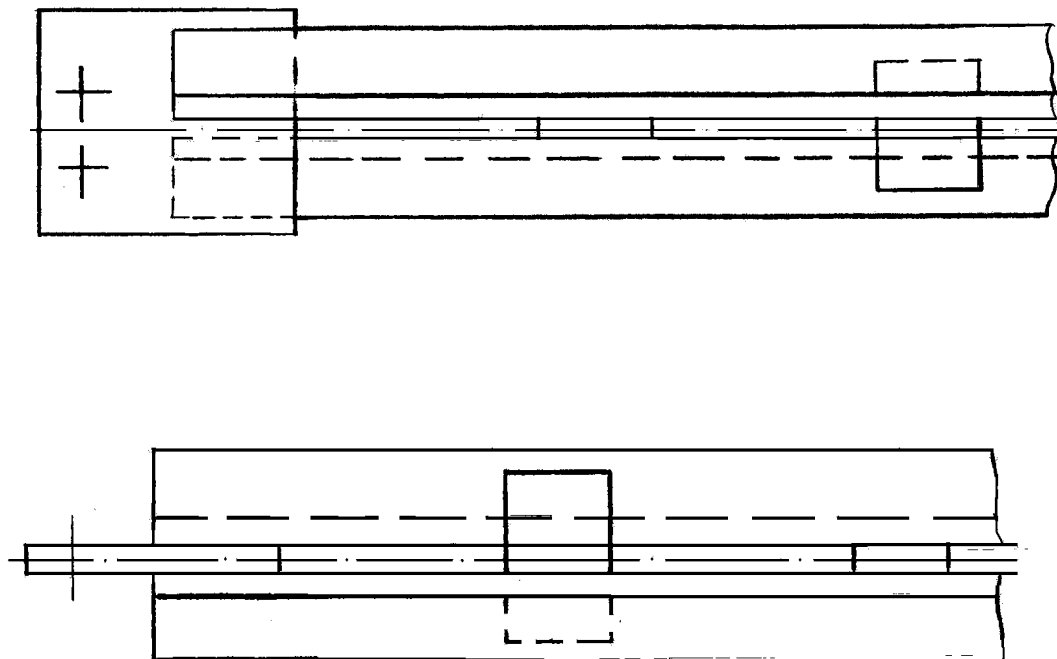


Рис. 8. Конструкция распорки.

С неё начинают монтаж перекрытия. В каждую сторону от связной панели за неё может быть закреплено до 4-х ферм (не считая связной панели). Верхние пояса ферм закрепляют за связную панель в перекрытии с плитами) с помощью распорок. Максимальное расстояние между связными панелями не должно превышать 60 м.

3.3.3. В перекрытиях с железобетонными плитами после укладки всех плит, закрепления их сваркой к фермам и заделки стыков между плитами, плиты полностью принимают на себя все функции горизонтальных связей, однако до укладки плит и на период монтажа плит горизонтальные связи абсолютно необходимы (их не снимают и после укладки плит).

3.3.4. В связных панелях перекрытия по верхнему поясу устанавливают распорки и крестовые диагональные связи (см. рис. 9).

3.3.5. Чтобы не мешать ребрам плит перекрытия, диагонали связей делают из одиночных уголков, вертикальные перья которых направлены вниз. В этом случае узел пересечения диагоналей выполнять по рис. 11, в. Свободные длины крестовых связей брать в соответствии с таблицей 9.

3.3.6. Крепления диагональных связей к поясам – самостоятельно или через косынку распорки (см. рис. 11 а, б).

3.3.7. Перья распорок крестового сечения не мешают установке плит, так как попадают в щель между соседними плитами.

3.3.8. Свободная длина пояса фермы на каждом участке его определяется расстоянием между рядами распорок и связей по верхнему поясу (учитывать и ряды вертикальных связей, и ряды распорок).

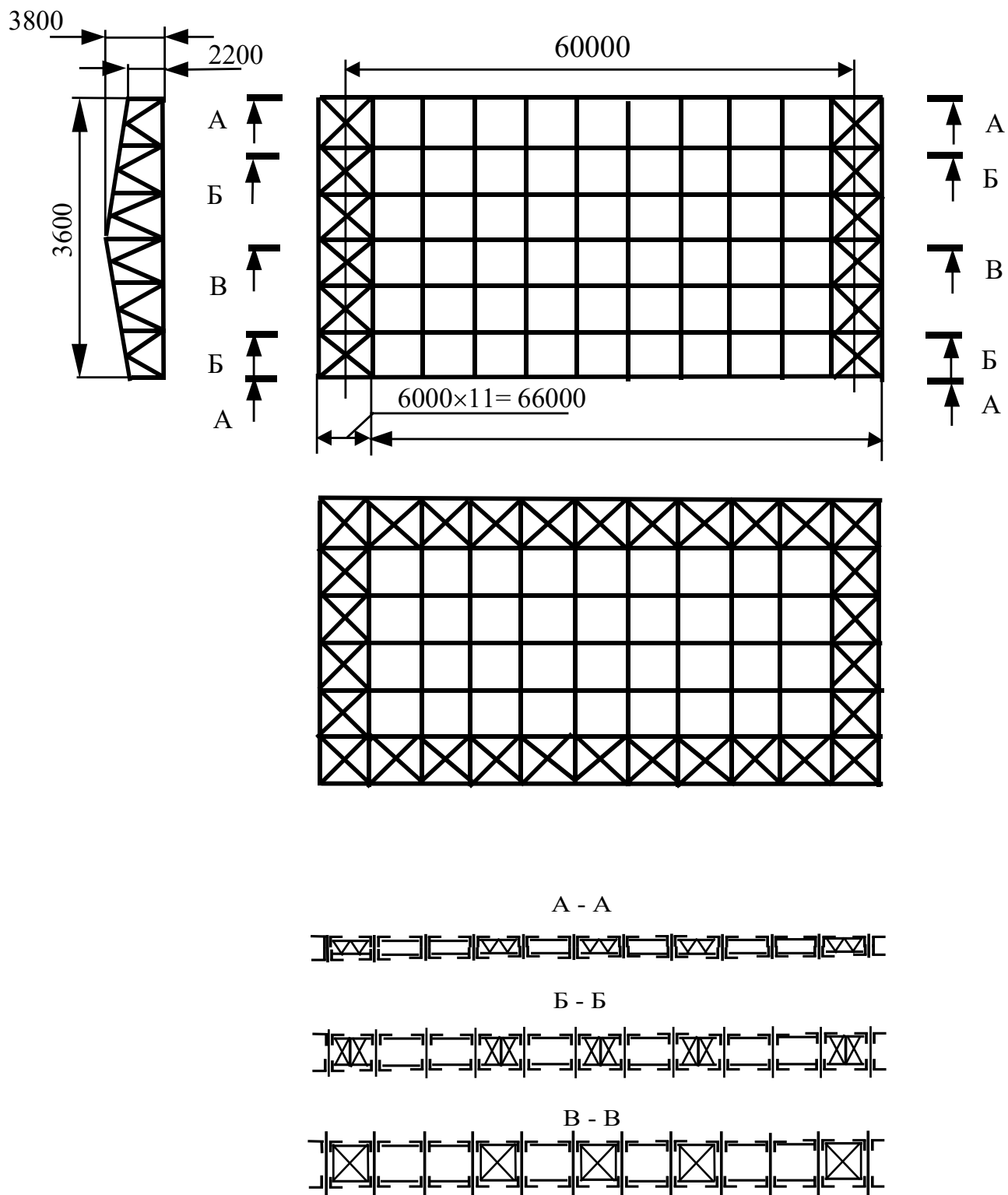


Рис. 9. Пример расстановки связей в перекрытии тяжёлого цеха

3.4. Вертикальные связи.

3.4.1. Вертикальные связи предотвращают от одновременного опрокидывания ферм путём поворота их вокруг горизонтальных осей, проходящих через опоры ферм. Одновременно они придают перекрытию заданную геометрическую форму. Вдоль цеха вертикальные связи обязательно ставят в связных панелях, а между связными панелями их располагают через одну или через две фермы (рис. 9). Поперёк цеха (вдоль фермы) ряды вертикальных связей обязательно располагать в местах приложения больших сосредоточенных нагрузок (по торцам ферм, г

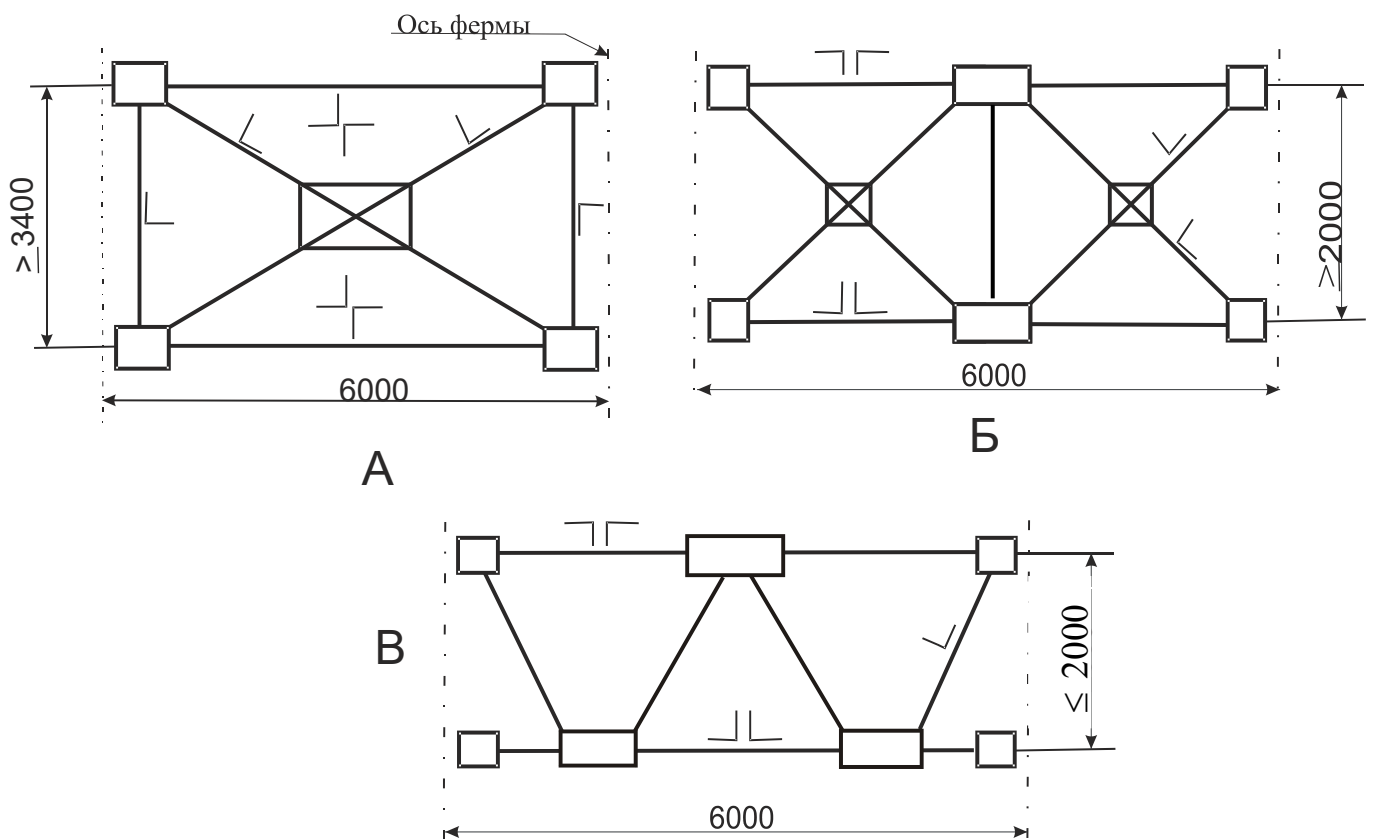


Рис. 10. Схемы ферм вертикальных связей.

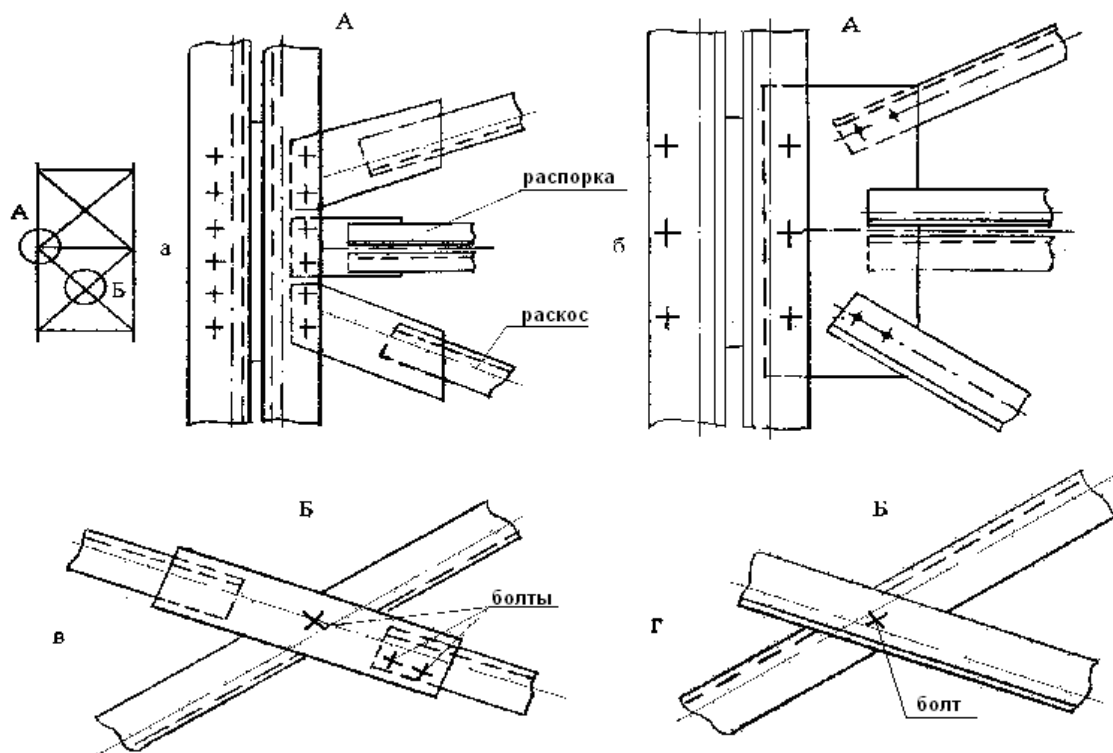


Рис 11. Примеры узлов крепления горизонтальных связей к поясам ферм

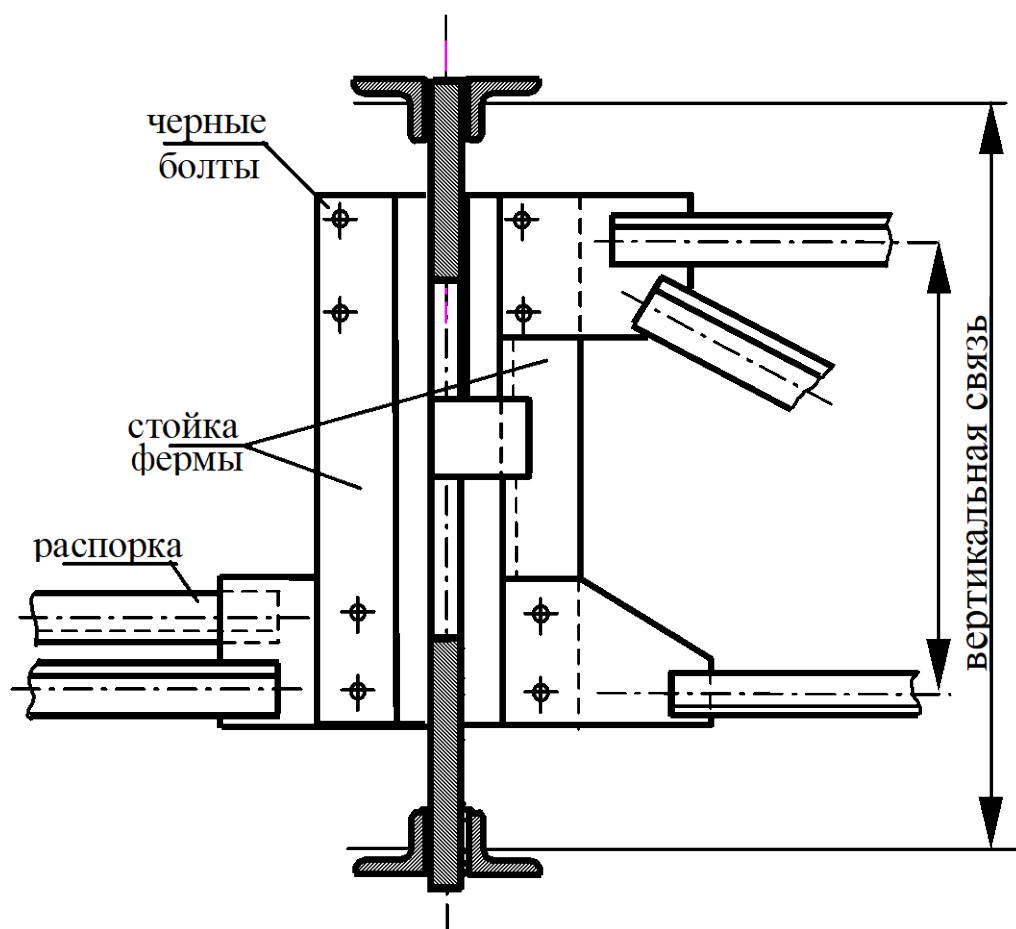


Рис. 12. Пример узлов крепления вертикальной связи и распорки к стойке фермы.

форму. Вдоль цеха вертикальные связи обязательно ставят в связных панелях, а между связными панелями их располагают через одну или через две фермы (рис. 9). Поперёк цеха (вдоль фермы) ряды вертикальных связей обязательно располагать в местах приложения больших сосредоточенных нагрузок (по торцам ферм, где приложены опорные реакции в местах опирания фонарей и т.п.), но не реже чем через $3 \div 4$ панели верхнего пояса.

3.4.2. Схему решётки ферм вертикальных связей в зависимости от их высоты назначить по рис. 10. Высота ферм вертикальных связей определяется высотой стоек стропильных ферм, к которым они крепятся (см. рис. 12).

3.4.3. Пояса и стойки вертикальных связей рассчитывать, как сжатые (по предельной гибкости). Если раскосная решётка связи крестовая (см. рис. 10, а, б), т.е. раскосы пересекаются, то каждый раскос рассчитывается по предельной гибкости, как растянутый. Если же раскосная решётка связи не крестовая (см. рис. 10, в), т.е. раскосы не пересекаются, то такие раскосы рассчитывают, как сжатые. При выполнении растянутого раскоса из одиночного уголка для расчёта можно брать радиус инерции r_x – относительно горизонтальной оси уголка. Для сжатых стержней из одиночных уголков в расчёт берётся минимальный радиус инерции уголка r_{yo} .

3.4.4. Распорки рядов вертикальных связей крепить или к стойкам ферм (по рис. 12), или к полкам поясов ферм (как на рис. 11 а, б).

3.5. Горизонтальные связи по нижнему поясу ферм

3.5.1. Связи по нижнему поясу располагают в плоскости нижних поясов ферм. Эти связи придают перекрытию жёсткость в плане, повышая сопротивление нагрузкам, возникающим при торможении кранов, и ветровым нагрузкам.

3.5.2. В цехах без кранов или с кранами грузоподъёмностью до 5 тонн включительно связи по нижним поясам ферм рекомендуются только вдоль торцов здания (рис. 9). При кранах грузоподъёмностью 10 тонн и больше связи по нижнему поясу обязательно предусматриваются вдоль торцов здания и вдоль стен, образуя жёсткий рамный контур в плоскости нижних поясов ферм (рис. 9).

3.5.4. Распорки связей по нижнему поясу проектировать по рис. 11. Диагонали крестовых связей проектировать из одиночных равнобоких уголков с узлом пересечения то рис. 11, г.

3.5.5. Крепление связей по нижнему поясу к поясам ферм производить на раздельных фасонках или через общие фасонки распорок аналогично рис. 11, а и б.

3.6. Соединение ветвей элементов ферм

3.6.1. Чтобы сечения элементов ферм из двух уголков работали как единый стержень, эти уголки должны быть соединены между собой прокладками (сухарями). Соединительные прокладки устанавливаются по длине сжатых стержней на расстоянии $l_g \leq 40r$ по длине растянутых стержней $l_g \leq 80r$, где r - радиус инерции уголка относительно главной оси (параллельной плоскости расположения прокла-

док). При отсутствии соединительных прокладок под воздействием сжимающей силы каждый уголок работал бы раздельно.

3.6.2. Соединительные планки привариваются к обоим уголкам, составляющим сечение фланговыми швами (для таврового сечения), рис. 13, и обвариваются по контуру в элементах фермы, имеющих крестовое сечение (см. рис. II).

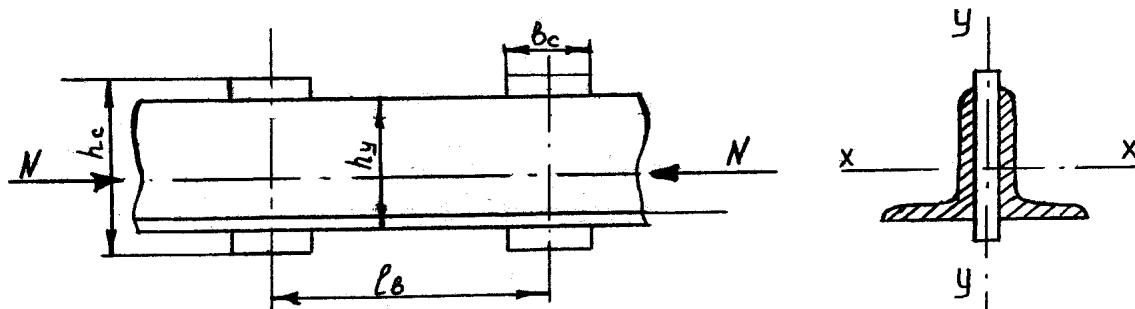


Рис. 13. Установка соединительных планок (сухарей) в элементах фермы.

3.6.3. Толщина соединительной планки должна соответствовать толщине косынки, ширина b_c выбирается конструктивно в пределах 60-100 мм, а высота h_c рассчитывается из соотношения:

$$h_c = h_y + 2 [k + (5 - 6)] \text{ мм},$$

где h_y – размер полки уголка, мм; K – катет шва, мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЁТА ПРОМЫШЛЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ.

Кровельные материалы

Плиты покрытия

Наиболее рациональным решением покрытия промышленного здания является крупноразмерный сборный железобетонный напряженно армированный настил из коробчатых плит размером 3х6 и 3х12 м и доборных плит размером 1,5х6 и 1,5х12 м. Плиты кладутся непосредственно на верхний пояс стропильных конструкций (ферм или балок) и привариваются к нему. После замоноличивания стыков между плитами покрытие промышленного здания работает как жёсткий диск на восприятие горизонтальных воздействий.

Для промышленных зданий применяются плиты типа ПНС 3х6 м весом 2300 кг, 1,5х6 м весом 1370 кг, плиты типа ПНТП 3х12 м весом 6900 кг, 1,5х12 м весом 3800 кг. Для крайних панелей ферм можно применять бортовые плиты типа ПКЖБ-2 0,6х6 м весом 510 кг и типа ПКЖН-6 0,8х12 м весом 3000 кг.

При покрытии плитами необходимо дополнительно, кроме веса несущей плиты, учитывать вес гидроизолирующего ковра (10 кг/м²), асфальтовой стяжки (30 кг/м²) и вес утеплителя из пенобетонных плит (при толщине слоя пенобетона 100 мм принимать 50 кг/м²).

Таблица 1

Ориентировочный вес металлоконструкций покрытий промышленных зданий
в кг на 1 м² перекрываемой площади

Цех лёгкого типа	Цех среднего типа	Цех тяжёлого типа
30 – 40	45 – 70	50 – 80

Сводная таблица результатов расчётов и унификаций сечений

Элементы ферм	Стержни	Усилие от постоянной нагрузки в кН	Усилие от снега, кН			Расчётное усилие в кН	Длина стержня, см	Тип и размер сечения (по расчёту)	Расчётные характеристики									Профили сечения после унификации
			Снег слева	Снег справа	Снег по всему пролёту				F см ²	l _x	l _y	r _x	r _y	λ _x	λ _y	φ _{min}	σ МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Верхний пояс																		
Нижний пояс																		
Стойки																		
Раскосы																		

Таблица 3

Сводная таблица результатов расчёта связей фермы

Вид связи	Схема связи	Элементы связей	Длина стержня	Тип и размеры сечения	Расчётные характеристики								Размеры сечения после унификации
					l_x см	l_y см	r_x см	r_y см	r_{min} см	λ_x	λ_y	λ_{max}	
Горизонтальные (по верхнему и нижнему поясу)		Распорки											
		Раскосы											
Вертикальные		Пояса											
		Стойки											
		Раскосы											

Примечание. Таблицы 2 а и 6, б помещаются на первом листе проекта.

Таблица 4

Унификация профилей, идущих на перекрытие

Номер	Размеры уголков (по порядку, начиная с самого крупного)	Вес 1 по- гонного метра в кг	Общая длина уголков данного профиля в м	Общий вес уголков данного профиля в кг	Разбивка на группы	Вес 1 по- гонного метра по- сле унифи- кации в кг	Вес про- филя после унифика- ции в кг	Завышение веса в ре- зультате унифика- ции в кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
				Итого до унифика- ции в кг			Итого по- сле унифи- кации в кг	Завышение веса в кг

Перерасход материала в результате унификации в % к весу до унификации _____

Примечание: Таблицу поместить в пояснительной записке

Таблица 5

Приведённая свободная длина l_o элементов ферм
(при геометрической длине элемента l)

Наименование элемента	В плоскости фермы	Из плоскости фермы
Пояса	l	l_I^*
Опорные раскосы и опорные стойки	l	l
Прочие элементы	$0,8l$	l

l_I^* - расстояние между узлами фермы, закреплёнными от горизонтального смещения из плоскости фермы.

Таблица 6

Толщина косынок фермы

Усилие в опорном раскосе в т	до 20	20-45	45-75	75-115	115-165	165-225	225-300
Толщина косынок и сухарей в мм	8	10	12	14	16	18	20

Таблица 7

Предельная гибкость λ_{\max} элементов перекрытия
(при динамических нагрузках)

Наименование элементов	М а т е р и а л	
	Сталь	Алюминиевые сплавы
Сжатые элементы		
Пояса, опорные раскосы, опорные стойки ферм	120	100
Прочие стойки и раскосы ферм	150	120
Связи	200	150

Растянутые элементы		
Пояса и опорные раскосы ферм	250	200
Прочие раскосы и стойки ферм	350	300
Связи	400	300

Таблица 8

Распределение усилия, приходящегося на уголок,
между швом по перу и швом по обушке




Тип уголка	Положение уголка	Доля усилия N	
		На шов по обушке (не менее)	На шов по перу (не менее)
Равнобокий		$0,7 N$	$0,3 N$
Неравнобокий		$0,75 N$	$0,25 N$
Неравнобокий		$0,65 N$	$0,35 N$

Таблица 9

Свободная длина стержней крестовой решётки
при расчёте гибкости из плоскости фермы или связи

Характер узла пресечения	Поддерживающий стержень		
	Растянут	не работает	сжат
Оба стержня не прерываются	$0,5l$	$0,7l$	l
Поддерживающий стержень прерывается и перекрыт фасонкой	$0,7l$	l	l

Радиусы инерции сечений и соотношения между ними

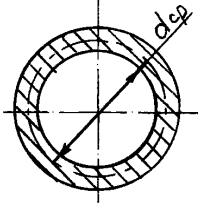
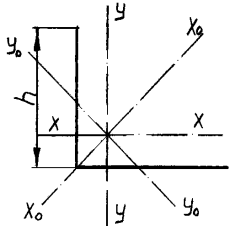
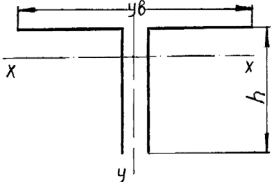
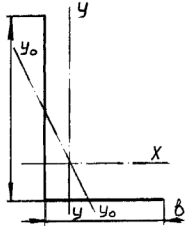
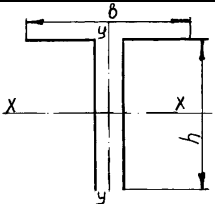
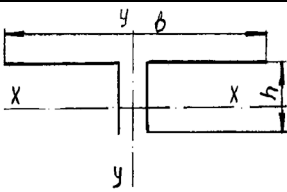
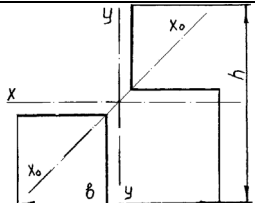
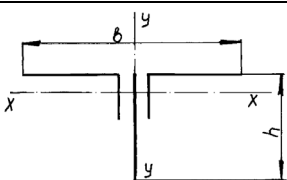
 $r = 0,35d_{cp}$	 $\begin{aligned} r_x &= 0,3h \\ r_y &= 0,3h \\ r_{x0} &= 0,385h \\ r_{y0} &= 0,195h \end{aligned}$
 $\begin{aligned} r_x &= 0,3h \\ r_y &= 0,215b \\ r_y &= 1,5r_x \end{aligned}$	 $\begin{aligned} r_x &= 0,32h \\ r_y &= 0,28b \\ r_{y0} &= 0,09(h-b) \end{aligned}$
 $\begin{aligned} r_x &= 0,32h \\ r_y &= 0,20b \end{aligned}$	 $\begin{aligned} r_x &= 0,28h \\ r_y &= 0,24b \\ r_y &= 2,5r_x \end{aligned}$
 $\begin{aligned} r_x &= 0,21h \\ r_y &= 0,21b \\ r_{x0} &= 0,185h \end{aligned}$	 $\begin{aligned} r_x &= 0,3h \\ r_y &= 0,17b \end{aligned}$

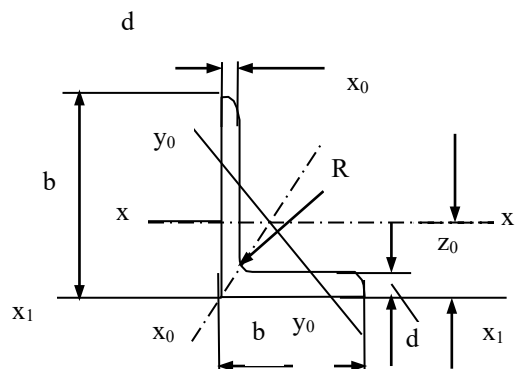
Таблица 11

Коэффициенты продольного изгиба φ центрально сжатых элементов из сталей Ст. 2 и Ст. 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0
10	0,990	0,988	0,986	0,984	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	10
20	0,970	0,966	0,966	0,964	0,962	0,960	0,958	0,956	0,954	0,952	20
30	0,950	0,947	0,944	0,941	0,933	0,935	0,932	0,929	0,926	0,923	30
40	0,920	0,917	0,914	0,911	0,908	0,905	0,902	0,899	0,896	0,893	40
50	0,890	0,887	0,884	0,881	0,878	0,875	0,872	0,869	0,866	0,863	50
60	0,860	0,865	0,850	0,845	0,840	0,835	0,830	0,825	0,820	0,815	60
70	0,810	0,804	0,798	0,792	0,786	0,780	0,774	0,768	0,762	0,756	70
80	0,750	0,744	0,738	0,732	0,726	0,720	0,714	0,708	0,702	0,696	80
90	0,690	0,681	0,672	0,663	0,654	0,645	0,636	0,627	0,618	0,609	90
100	0,600	0,592	0,584	0,576	0,568	0,560	0,552	0,544	0,536	0,528	100
110	0,520	0,513	0,506	0,499	0,492	0,485	0,478	0,471	0,464	0,457	110
120	0,450	0,445	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	120
130	0,400	0,396	0,392	0,388	0,384	0,380	0,376	0,372	0,368	0,364	130
140	0,360	0,366	0,352	0,348	0,344	0,340	0,336	0,332	0,328	0,324	140
150	0,320	0,317	0,314	0,311	0,308	0,305	0,302	0,299	0,296	0,293	150

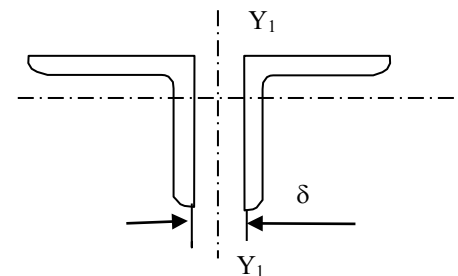
Таблица 12

Сталь прокатная угловая равнобокая
(выборка из ГОСТ 8509)



Условные обозначения:

b - ширина полки;
d - толщина полки;
J - момент инерции;
r - радиус инерции



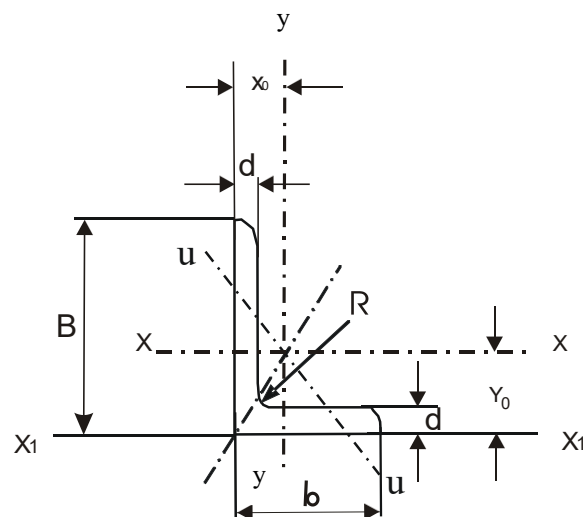
Размеры уголка, мм		R, мм	Площадь сечения, см ²	Вес 1 пог. м в кг	Расстояние цент-ра тяже- сти Z ₀ , см	Ось X-X		Ось X ₁ -X ₁	Ось X ₀ -X ₀		Ось Y ₀ -Y ₀		Радиусы инерции r _y для двух уголков при δ в мм			
						J _x , см ⁴	Γ _x , см		J _{x0} , см ⁴	Γ _{x0} , см	J _{y0} , см ⁴	Γ _{y0} , см				
b	d							J _{x1} , см ⁴					δ=8	δ=10	δ=12	δ=14
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
45	4	5	3,48	2,73	1,26	6,63	1,38	12,1	10,5	1,74	2,74	0,89	2,16	2,24	2,32	2,4
	5		4,29	3,37	1,3	8,03	1,37	15,3	12,7	1,72	3,33	0,88	2,18	2,26	2,34	2,42
50	4	5,5	3,89	3,05	1,38	9,21	1,54	16,6	14,6	1,94	3,8	0,99	2,35	2,43	2,51	2,59
	5		4,8	3,77	1,42	11,2	1,53	20,9	17,8	1,92	4,63	0,98	2,38	2,45	2,53	2,61
56	4	6	4,38	3,44	1,52	13,1	1,73	23,3	20,8	2,18	5,41	1,11	2,58	2,66	2,73	2,81
	5		5,41	4,25	1,57	16,0	1,72	29,2	25,4	2,16	6,59	1,1	2,61	2,72	2,77	2,85
63	4	7	4,96	3,9	1,69	18,9	1,95	33,1	29,9	2,45	7,81	1,25	2,86	2,93	3,01	3,09
	5		6,13	4,81	1,74	23,1	1,94	41,5	36,6	2,44	9,52	1,25	2,89	2,96	3,04	3,12
	6		7,28	5,72	1,78	27,1	1,93	50,0	42,9	2,43	11,2	1,24	2,91	2,99	3,06	3,14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
70	4,5	8	6,20	4,87	1,88	29,0	2,16	51,0	46	2,72	12,0	1,39	3,14	3,21	3,29	3,27
	5		6,86	5,38	1,9	31,9	2,16	56,7	50,7	2,72	13,2	1,39	3,16	3,23	3,30	3,38
	6		8,15	6,39	1,94	37,6	2,15	68,4	59,6	2,71	15,5	1,38	3,18	3,25	3,33	3,4
	7		9,42	7,39	1,99	43,0	2,14	80,1	68,2	2,69	17,8	1,37	3,20	3,28	3,36	3,44
	8		10,7	8,37	2,02	48,0	2,13	91,9	76,4	2,68	20,0	1,37	3,22	3,29	3,37	3,45
75	5	9	7,39	5,80	2,02	39,5	2,31	69,6	62,6	2,91	16,4	1,49	3,35	3,42	3,49	3,57
	6		8,78	6,89	2,06	46,6	2,3	83,9	73,9	2,9	19,3	1,43	3,37	3,44	3,52	3,6
	7		10,1	7,96	2,10	53,3	2,29	98,3	84,6	2,89	22,1	1,48	3,40	3,47	3,54	3,62
	8		11,5	9,02	2,15	59,8	2,28	113	94,9	2,87	24,8	1,47	3,43	3,50	3,57	3,65
	9		12,8	10,1	2,18	66,1	2,27	127	105	2,86	27,5	1,46	3,44	3,51	3,59	3,67
80	5,5	9	8,63	6,78	2,17	52,7	2,47	93,2	83,6	3,11	21,8	1,59	3,57	3,64	3,71	3,79
	6		9,38	7,36	2,19	57	2,47	102	90,4	3,11	23,5	1,58	3,58	3,65	3,72	3,8
	7		10,8	8,51	2,23	65,3	2,45	119	104	3,09	27	1,58	3,6	3,67	3,75	3,82
	8		12,3	9,65	2,27	73,4	2,44	137	116	3,08	30,3	1,57	3,62	3,69	3,77	3,84
90	6	10	10,6	8,33	2,43	82,1	2,78	145	130	3,5	34	1,79	3,97	4,04	4,11	4,19
	7		12,3	9,64	2,47	94,3	2,77	169	150	3,49	38,9	1,78	3,98	4,06	4,13	4,21
	8		13,9	10,9	2,51	106	2,76	194	168	3,48	43,8	1,77	4,01	4,08	4,16	4,23
	9		15,6	12,2	2,55	118	2,75	219	186	3,46	48,6	1,77	4,04	4,11	4,18	4,26
100	6,5	12	12,8	10,1	2,68	122	3,09	214	193	3,88	50,7	1,99	4,36	4,43	4,50	4,57
	7		13,8	10,8	2,71	131	3,08	231	207	3,88	54,2	1,98	4,38	4,45	4,52	4,59
	8		15,6	12,2	2,75	147	3,07	265	233	3,87	60,9	1,98	4,40	4,47	4,54	4,62
	10		19,2	15,1	2,83	179	3,05	333	284	3,84	74,1	1,96	4,44	4,52	4,59	4,66
	12		22,8	17,9	2,91	209	3,03	402	331	3,81	86,9	1,95	4,48	4,56	4,63	4,71
	14		26,3	20,6	2,99	237	3,00	472	375	3,78	99,3	1,94	4,53	4,60	4,68	4,76
	16		29,7	23,3	3,06	264	2,98	542	416	3,74	112	1,94	4,57	4,64	4,72	4,80

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
110	7	12	15,2	11,9	2,96	176	3,40	308	279	4,29	72,7	2,19	4,78	4,85	4,92	5,00
	8		17,2	13,5	3,00	198	3,39	353	315	4,28	81,8	2,18	4,80	4,87	4,95	5,02
125	8	14	19,7	15,5	3,36	294	3,87	516	467	4,87	122	2,49	5,39	5,46	5,53	5,60
	9		22,0	17,3	3,40	327	3,86	582	520	4,86	135	2,48	5,41	5,48	5,56	5,63
	10		24,3	19,1	3,45	360	3,85	649	571	4,84	149	2,47	5,44	5,52	5,58	5,66
	12		28,9	22,7	3,53	422	3,82	782	670	4,82	174	2,46	5,48	5,55	5,62	5,70
	14		33,4	26,2	3,61	482	3,80	916	764	4,78	200	2,45	5,52	5,60	5,67	5,75
	16		37,8	29,6	3,68	539	3,78	1051	853	4,75	224	2,44	5,56	5,63	5,72	5,78
140	9	14	24,7	19,4	3,78	456	4,34	818	739	5,47	192	2,79	6,02	6,10	6,16	6,24
	10		27,3	21,5	3,82	512	4,33	911	814	5,46	211	2,78	6,02	6,12	6,19	6,25
	12		32,5	25,5	3,90	602	4,31	1097	957	5,43	248	2,76	6,08	6,15	6,25	6,30
160	10	16	31,4	24,7	4,30	774	4,96	1336	1229	6,25	319	3,19	6,84	6,91	6,97	7,05
	11		34,4	27,0	4,35	844	4,95	1494	1341	6,24	348	3,18	6,86	6,93	7,00	7,07
	12		37,4	29,4	4,39	913	4,94	1633	1450	6,23	376	3,17	6,88	6,95	7,02	7,09
	14		43,3	34,0	4,47	1046	4,92	1911	1662	6,20	431	3,16	6,91	6,98	7,05	7,13
	16		49,1	38,5	4,55	1175	4,89	2191	1866	6,17	485	3,14	6,95	7,03	7,10	7,18
	18		54,8	43,0	4,63	1299	4,87	2472	2061	6,13	537	3,13	7,00	7,07	7,14	7,22
	20		60,4	47,4	4,7	1419	4,85	2756	2248	6,10	589	3,12	7,04	7,11	7,18	7,26
180	11	16	38,8	30,5	4,85	1216	5,60	2128	1933	7,06	540	3,58	7,69	7,76	7,83	7,82
	12		42,0	33,4	4,89	1317	5,59	2324	2093	7,04	749	3,99	8,48	8,55	8,62	7,84
200	12	18	47,4	37,0	5,37	1823	6,22	3182	2896	7,84	749	3,99	8,48	8,55	8,62	8,69
	13		50,9	39,9	5,42	1961	6,21	3452	3116	7,83	805	3,98	8,50	8,58	8,64	8,71
	14		54,6	42,8	5,46	2097	6,20	3722	3333	7,81	861	3,97	8,52	8,60	8,66	8,73
	16		62,0	48,7	5,54	2363	6,17	4264	3755	7,78	970	3,96	8,56	8,64	8,70	8,77
	20		76,5	60,1	5,70	2871	6,12	5355	4560	7,72	1182	3,93	8,65	8,72	8,79	8,86
	25		94,3	74,0	5,89	3466	6,06	6733	5494	7,63	1438	3,91	8,74	8,81	8,88	8,95

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	30		112	87,6	6,07	4020	6,0	8130	6351	7,55	1688	3,89	8,83	8,90	8,97	9,05
220	14	21	60,4	47,4	5,93	2814	6,83	4941	4470	8,60	1159	4,38	9,31	9,37	9,45	9,52
	16		68,6	53,8	6,02	3175	6,81	5661	5045	8,58	1306	4,36	9,35	9,42	9,49	9,56
250	16	24	78,4	61,5	6,75	4717	7,75	8286	7492	9,78	1942	4,98	10,55	10,62	10,7	10,7
	18		87,7	68,9	6,83	5247	7,73	9342	8337	9,75	2158	4,96	10,59	10,65	10,7	10,8
	20		97,0	76,1	6,91	5765	7,71	10401	9160	9,72	2370	4,94	10,62	10,69	10,8	10,8
	22		106	83,3	7,00	6270	7,69	11464	9961	9,69	2579	4,93	10,67	10,74	10,8	10,9
	25		120	94,0	7,11	7006	7,65	13064	11125	9,64	2887	4,91	10,72	10,79	10,8	10,9
	28		133	105	7,23	7717	7,61	14674	12244	9,59	3190	4,89	10,78	10,85	10,9	11,0
	30		142	111	7,31	8177	7,59	15753	12965	9,56	3389	4,89	10,82	10,89	11,0	11,0

Таблица 12



Сталь прокатная угловая неравнобокая
(выборка из ГОСТ 8510)

Условные обозначения:

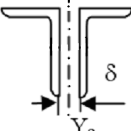
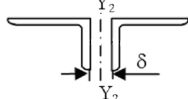
b - ширина полки;

d - толщина полки;

J - момент инерции;

r - радиус инерции;

B - ширина большей полки

Размеры уголка, мм			R, мм	Площадь сечения, см ²	Вес 1 пог. м в кг	Расстояние центра тяжести		Ось x-x		Ось y-y		Ось x ₁ -x ₁	Ось y ₁ -y ₁	Ось u-u		Радиусы инерции r _y для двух уголков при δ мм 				Радиусы инерции r _y для двух уголков при δ мм 			
						y ₀ см	x ₀ см	J _x см ⁴	r _x см	J _y см ⁴	r _y см	J _{x1} см ⁴	J _{y1} см ⁴	J _u мин см ⁴	r _u мин см	δ=8	δ=10	δ=12	δ=14	δ=8	δ=10	δ=12	δ=14
B	b	d	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
56	36	4	6,0	3,58	2,8	1,82	0,84	11,4	1,78	3,7	1,02	23,2	6,25	2,19	0,78	1,60	1,68	1,76	1,84	2,85	2,93	3,01	3,09
		5		4,41	3,5	1,86	0,88	13,8	1,77	4,48	1,01	29,2	7,91	2,66	0,78	1,63	1,71	1,79	1,87	2,87	2,95	3,03	3,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
63	40	4	7,0	4,04	3,17	2,03	0,87	16,3	2,01	5,16	1,13	33,0	8,51	3,07	0,87	1,73	1,81	1,89	1,96	3,15	3,23	3,31	3,39
		5		4,98	3,91	2,08	0,86	19,9	2,00	6,25	1,12	41,4	10,8	3,73	0,86	1,75	1,83	1,91	1,99	3,19	3,26	3,34	3,42
		6		5,90	4,63	2,12	0,99	23,3	1,99	7,28	1,11	49,9	13,1	4,36	0,85	1,78	1,89	1,94	2,02	3,21	3,29	3,36	3,45
		8		7,68	6,03	2,20	1,07	29,6	1,96	9,15	1,09	66,9	17,9	5,58	0,85	1,83	1,91	1,99	2,08	3,26	3,34	3,42	3,50
70	45	4,5	7,5	5,07	3,98	2,25	1,03	25,3	2,23	8,25	1,28	51,0	13,6	4,88	0,98	1,92	1,99	2,07	2,15	3,43	3,54	3,62	3,70
		5		5,59	4,39	2,28	1,05	27,8	2,23	9,05	1,27	56,7	15,2	5,34	0,98	1,93	2,01	2,08	2,17	3,49	3,56	3,64	3,72
75	50	5	8,0	6,11	4,79	2,39	1,17	34,8	2,39	12,5	1,43	69,7	20,8	7,24	1,09	2,13	2,21	2,28	2,36	3,67	3,75	3,83	3,90
		6		7,25	5,69	2,44	1,21	40,9	2,38	14,6	1,42	83,9	25,2	8,48	1,08	2,15	2,22	2,30	2,38	3,70	3,78	3,86	3,94
		8		9,47	7,43	2,52	1,29	52,4	2,35	18,5	1,40	112	34,2	10,9	1,07	2,19	2,27	2,37	2,43	3,75	3,83	3,91	3,98
80	50	5	8,0	6,36	4,99	2,6	1,13	41,6	2,56	12,7	1,41	84,6	20,8	7,58	1,09	2,08	2,16	2,23	2,30	3,94	4,02	4,11	4,19
		6		7,55	5,92	2,65	1,17	49,0	2,55	14,8	1,40	102	25,2	8,88	1,08	2,10	2,18	2,26	2,34	3,97	2,05	4,13	4,21
90	56	5,5	9,0	7,86	6,17	2,92	1,26	65,3	2,88	19,7	1,58	132	32,2	11,8	1,22	2,29	2,36	2,44	2,52	4,40	4,47	4,55	4,63
		6		8,54	6,70	2,95	1,28	70,6	2,88	21,2	1,58	145	35,2	12,7	1,22	2,30	2,38	2,45	2,53	4,42	4,49	4,57	4,65
		8		11,2	8,77	3,04	1,36	90,9	2,85	27,1	1,56	194	47,8	16,3	1,21	2,35	2,43	2,51	2,58	4,47	4,52	4,62	4,70
100	63	6	10	9,59	7,53	3,23	1,42	98,3	3,2	30,6	1,79	198	48,9	18,2	1,38	2,55	2,62	2,70	2,77	4,84	4,92	4,99	5,07
		7		11,1	8,7	3,28	1,46	113	3,19	35,0	1,78	232	58,7	20,8	1,37	2,57	2,64	2,72	2,78	4,87	4,95	5,02	5,10
		8		12,6	9,87	3,32	1,50	127	3,18	39,2	1,77	256	67,6	23,4	1,36	2,59	2,66	2,74	2,82	4,89	4,97	5,04	5,12
		10		15,5	12,1	3,40	1,58	154	3,15	47,1	1,75	333	85,8	28,3	1,35	2,64	2,71	2,79	2,87	4,94	5,01	5,09	
110	70	6,5	10	11,4	8,98	3,55	1,58	142	3,53	45,6	2,0	286	74,3	26,9	1,53	2,81	2,88	2,96	3,03	5,30	5,37	5,44	5,52
		7		12,3	9,64	3,5 7	1,6	152	3,52	48,7	1,99	309	80,3	28,8	1,53	2,82	2,89	2,97	3,04	5,31	5,38	5,45	5,53
		8		13,9	10,9	3,61	1,64	172	3,51	54,6	1,96	353	92,3	32,3	1,52	2,84	2,92	2/99	3,07	5,33	5,41	5,49	5,56

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
125	80	7	11	14,1	11,0	4,01	1,8	227	4,01	73,7	2,29	452	119	43,4	1,76	3,17	3,24	3,31	3,39	5,96	6,04	6,11	66,19
		8		16,0	12,5	4,05	1,84	256	4	83,0	2,28	518	137	48,8	1,75	3,19	3,27	3,34	3,41	5,98	6,06	6,13	6,21
		10		19,7	15,5	4,14	1,92	312	3,98	100	2,26	649	173	59,3	1,74	3,23	3,31	3,37	3,46	6,04	6,11	6,19	6,27
		12		23,4	18,3	4,22	2,0	365	3,95	117	2,24	781	210	69,5	1,72	3,28	3,25	3,43	3,51	6,08	6,15	6,23	6,31
140	90	8	12	18,0	14,1	4,49	2,03	364	4,49	120	2,58	723	194	70,3	1,98	3,55	3,61	3,69	3,76	6,64	6,72	6,79	6,86
		10		22,2	17,5	4,58	2,12	444	4,47	146	2,56	911	245	85,5	1,96	3,60	3,67	3,74	3,82	6,69	6,77	6,84	6,92
160	100	9	13	22,9	18	5,19	2,23	606	5,15	186	2,85	1221	300	110	2,2	3,87	3,95	4,02	4,09	7,60	7,67	7,75	7,82
		10		25,3	19,8	5,23	2,28	667	5,13	204	2,84	1359	335	121	2,19	3,90	3,97	4,04	4,12	7,62	7,69	7,77	7,84
		12		30,0	23,6	5,32	2,36	784	5,11	239	2,82	1634	405	142	2,18	3,95	4,02	4,09	4,16	7,67	7,75	7,82	7,90
		14		34,7	27,3	5,40	2,43	897	5,08	272	2,8	1910	477	162	2,16	3,98	4,05	4,13	4,20	7,71	7,78	7,86	7,94
180	110	10	14	28,3	22,2	5,88	2,44	952	5,8	276	3,12	1933	444	165	2,42	4,22	4,29	4,36	4,43	8,55	8,62	8,69	8,77
		12		33,7	26,4	5,97	2,52	1123	5,77	324	3,1	2324	537	194	2,40	4,26	4,33	4,40	4,47	8,59	8,67	8,75	8,82
200	125	11	14	34,9	27,4	6,5	2,79	1449	6,45	446	3,58	2920	718	264	2,75	4,79	4,86	4,93	5,00	9,44	9,51	9,59	9,66
		12		37,9	29,7	6,54	2,83	1568	6,43	482	3,57	3189	786	285	2,74	4,81	4,88	4,95	5,02	9,46	9,54	9,62	9,68
		14		43,9	34,4	6,62	2,91	1801	6,41	551	3,54	3726	922	327	2,73	4,85	4,92	4,99	5,06	9,50	9,58	9,65	9,73
		16		48,8	39,1	6,71	2,99	2026	6,38	617	3,52	4264	1061	367	2,72	4,89	4,95	5,03	5,10	9,55	9,63	9,70	9,78
250	160	12	18	48,3	37,9	7,97	3,53	3147	8,07	1032	4,62	6212	1634	604	3,54	6,07	6,13	6,20	6,27	11,6	11,7	11,7	11,8
		16		63,6	49,9	8,14	3,69	4091	8,02	1333	4,58	8306	2200	781	3,50	6,14	6,21	6,27	6,34	11,7	11,8	11,8	11,9
		18		71,1	55,8	8,23	3,77	4545	7,99	1475	4,56	9358	2487	866	3,49	6,18	6,24	6,31	6,38	11,7	11,8	11,9	12,0
		20		78,5	61,7	8,31	3,85	4987	7,97	1613	4,53	10410	2776	949	3,48	6,20	6,28	6,35	6,42	11,8	11,9	12,0	12,0

Литература

1. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1982. 272 с.
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1983. 344 с.
3. Мандриков А.П., Лялин И.М. Проектирование металлических конструкций: Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1973.
4. Васильев А.А. Металлические конструкции: Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1968.
5. СНИП-П-23-81. Стальные конструкции.

Сводная таблица результатов расчётов и унификаций сечений

Элементы ферм	Стержни	Усилие от постоянной нагрузки в кН	Усилие от снега, кН			Усилие в расчётное кН	Длина стержня, см	Тип и размер сечения (по расчёту)	Расчётные характеристики									Профили сечения после унификации
			Снег слева	Снег справа	Снег по всему пролёту				F см ²	l _x	l _y	r _x	r _y	λ _x	λ _y	φ _{min}	σ МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Верхний пояс																		
Нижний пояс																		
Стойки																		
Раскосы																		

Таблица 3

Сводная таблица результатов расчёта связей фермы

Вид связи	Схема связи	Элементы связей	Длина стержня	Тип и размеры сечения	Расчётные характеристики								Размеры сечения после унификации
					l_x см	l_y см	r_x см	r_y см	r_{min} см	λ_x	λ_y	λ_{max}	
Горизонтальные (по верхнему и нижнему поясу)		Распорки											
		Раскосы											
Вертикальные		Пояса											
		Стойки											
		Раскосы											

Примечание. Таблицы 6, а и 6, б помещаются на первом листе проекта.