

Рекомендации «Рекомендации по проектированию структурных конструкций»

**ЦНИИСК им. Кучеренко
Госстроя СССР**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Москва 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

Структурные конструкции в силу ряда положительных качеств и в том числе универсальности, возможности изготовления на поточных высокопроизводительных технологических линиях, простоты транспортирования и удобства монтажа уже давно завоевали место в строительстве промышленных и гражданских зданий.

При столь быстрых темпах развития этих конструкций возникла необходимость выпуска рекомендаций по проектированию структурных конструкций, отвечающих требованиям современного уровня промышленного и гражданского строительства.

Настоящие Рекомендации разработаны Отделением новых форм металлических конструкций ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР при участии ряда научно-исследовательских организаций, учебных институтов и отдельных специалистов на основе последних экспериментально-теоретических исследований структурных конструкций, опыта их проектирования, изготовления и монтажа.

**1. СТЕРЖНЕВЫЕ СХЕМЫ СТРУКТУР, ИХ УЗЛОВЫЕ
СОПРЯЖЕНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАЗНАЧЕНИЮ
ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУР

1.1. Поиски современных архитектурных форм большой выразительности и универсальности, образуемых на основе многократно повторяющихся элементов, привели к созданию стержневых систем нового типа, к так называемым структурам. Эти системы, имея в своей основе «кристаллическое» строение, сходны с

некоторыми весьма прочными образованиями органической природы. Практика отечественного и зарубежного строительства имеет немало примеров применения структурных конструкций в виде оболочек, складок, куполов. Однако в подавляющем большинстве структурные конструкции применяются в виде стержневых плит. Эти конструкции изготавливаются из стали, алюминия, дерева, в некоторых случаях из пластмасс. В отечественном гражданском строительстве нашли также применение плиты регулярного строения из армоцементных элементов.

Однако массовое распространение в отечественном строительстве получили стальные структурные плиты. Учитывая это, настоящее издание содержит рекомендации по проектированию стальных структурных плит, работающих совместно с каркасом производственных или гражданских зданий с несущими стальными или железобетонными колоннами, возводимых как в обычных, так и сейсмических районах. Помимо статической нагрузки в ряде случаев предусматривается вибрационное воздействие на структуры от работы крышных вентиляторов.

1.2. Структуры обладают рядом преимуществ, правильное использование которых позволяет повысить экономическую эффективность конструкции по сравнению с традиционными решениями.

К преимуществам относятся: пространственность работы системы; повышенная надежность от внезапных разрушений; снижение строительной высоты покрытия (перекрытия); возможность перекрытия больших пролетов; удобство проектирования линий подвесного транспорта и подвесных потолков; возможность свободной расстановки оборудования (на перекрытиях); облегчение ограждающих конструкций кровли благодаря частой сетке узлов; максимальная унификация узлов и стержневых элементов; поточное изготовление металлических конструкций на высокопроизводительных технологических линиях; снижение затрат на транспорт и возможность доставки в отдаленные и труднодоступные места; возможность использования совершенных методов монтажа-сборки на земле и подъема покрытия крупными блоками; сборно-разборность (при необходимости); архитектурная выразительность и возможность применения для зданий различного назначения.

При этом экономическая целесообразность использования структур в полной мере достигается при их серийном изготовлении на специализированных заводах.

1.3. Структурные конструкции, сходные по своему геометрическому строению с кристаллическими решетками металла, являются типичным примером пространственной системы. Сила, приложенная к любому узлу структуры и произвольно направленная, вызывает усилие в первую очередь в примыкающих к узлу пространственнорасположенных стержнях, т.е. пространственную реакцию, сходную с сопротивлением сплошной системы (плиты или оболочки). Структурная система не имеет традиционных для металлических конструкций связей и в ряде случаев прогонов. Их функции выполняют несущие стержни поясных сеток и наклонной решетки. Легко убедиться, что даже структурная плита (рис. 1.1. а), поясные сетки которой образуют квадратные ячейки и сами по себе геометрически изменяемы, в целом является геометрически неизменяемой системой без каких-либо связей; роль связей выполняют наклонные раскосы.

1.4. Пространственная работа структур ярче проявляется при действии неравномерных нагрузок. При этом перегрузка большинства стержней, исключая стержни, выход которых из работы превращает систему в механизм, не нарушает нормальной работы конструкции в целом благодаря способности системы к перераспределению усилий.

1.5. Системы с геометрически неизменяемыми поясными сетками (треугольные ячейки сеток) (рис.1.1, б), могут воспринимать крутящие моменты. В меньшей степени жесткостью на кручение обладают структуры, в которых одна сетка поясов геометрически изменяема, например, одна из шестиугольников, другая из треугольников (рис. 1.1, в).

В случае когда обе поясные сетки являются геометрически изменяемыми, система не воспринимает крутящие моменты.

1.6. Работа структурных плит на кручение приводит к уменьшению усилий в поясах от действия изгибающих моментов. Распределение усилий на диагональные направления вследствие кручения увеличивает общую жесткость системы, работа которой обычно соответствует расчетным моделям в интервале от изотропной пластинки с нулевой жесткостью на кручение до изотропной пластинки.

1.7. Помимо структурных систем с регулярной решеткой в практике строительства нашли применение структурные системы с так называемой разреженной решеткой, когда определенные ячейки не заполняются поясами или раскосами. Подобные решения с точки зрения производства имеют достаточные обоснования, однако в статическом отношении разрежение решетки способствует снижению как общей жесткости системы, так и работы системы на кручение.

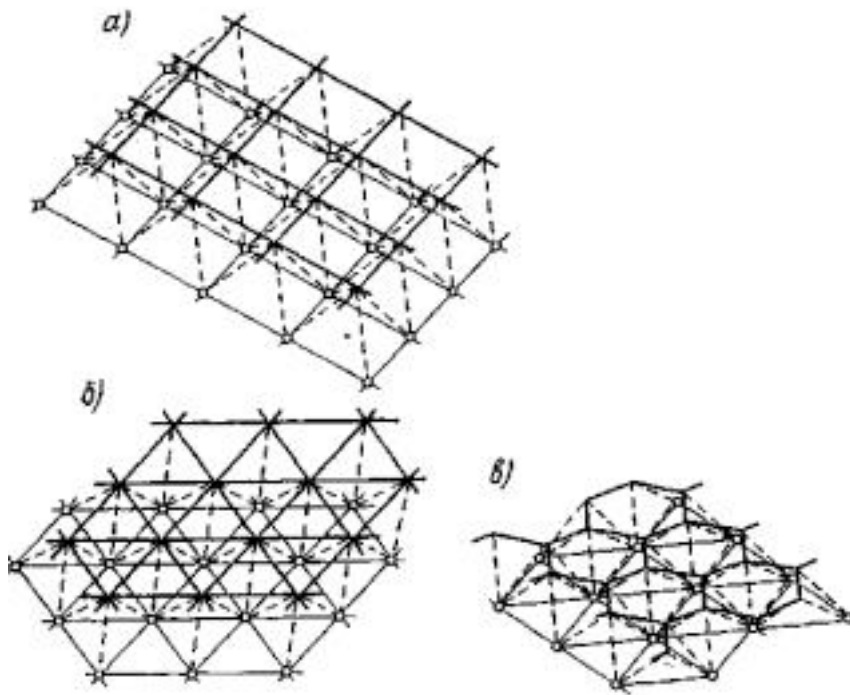


Рис. 1.1. Некоторые схемы структурных плит

а - ортогональная поясная сетка; б - поясная сетка с треугольными ячейками; поясная сетка с треугольными и шестиугольными ячейками

1.8. Структурные плиты обладают повышенной жесткостью, обычно для них рекомендуется отношение высоты к пролету $h/l = 1/16 - 1/25$ (против $1/8 - 1/10$ в традиционных плоских фермах). В одноэтажных промышленных зданиях это позволяет значительно уменьшить объем здания и связанные с ним эксплуатационные расходы.

1.9. Как конструкции большепролетного назначения структурные плиты целесообразно применять с укрупненной сеткой колонн, переход к которой в большинстве случаев прогрессивен. Преимущества таких схем известны - свободная планировка, гибкость при изменении технологии, а также экономия площади.

1.10. Проблема подвешенного транспорта при структурах решается намного проще, чем в обычных покрытиях. Частая сетка узлов допускает подвеску путей кранов, тельферов и конвейеров с минимальными дополнительными затратами в любой зоне конструкции.

Сокращение пролета между несущими элементами с 6 или 12 м до 2 - 3 м в структурах создает условия для применения беспрогонных решений кровли.

1.11. В многоэтажных зданиях, когда помещения должны удовлетворять требованиям произвольной установки оборудования, а также при необходимости применять большепролетную сетку колонн, структуры являются весьма удачной конструкцией и для перекрытий.

1.12. Свойственная структурам однотипность узлов и стержневых элементов позволяет перейти к поточному механизированному производству металлических конструкции применительно к зданиям различного назначения, значительно удешевив заводское изготовление. Поточное производство, как известно, позволяет резко повысить производительность и качество изготовления конструкций.

1.13. Структурные конструкции в большинстве случаев оставляют на месте строительства в виде отдельных элементов или вкладываемых одна в другую стержневых пирамид, образующих в процессе транспортировки плотный штабель. Такие перевозки экономят транспортные средства. Структуры являются почти единственно возможной конструкцией заводского изготовления для труднодоступных районов, куда строительные элементы можно доставлять лишь авиацией.

1.14. При конвейерно-блочном методе монтажа, несмотря на большое количество элементов, из которых на месте собирается конструкция, монтаж ее в ряде случаев оказывается более быстрым и экономичным, чем при обычных конструкциях.

1.15. Структуры имеют ряд недостатков, зачастую неразрывно связанных с достоинствами. Являясь по своему внутреннему строению конструктивной схемой, заимствованной из природы, структуры уступают своим природным аналогам в том, что одновременно с пространственностью приобретают черты жесткой унификации, что ведет к некоторому увеличению расхода материала.

СХЕМЫ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ЧЛЕНЕНИЕ НА ОТПРАВОЧНЫЕ МАРКИ

1.18. Формирование структур на строительной площадке в большинстве случаев осуществляется из отдельных отправочных марок заводского изготовления. При этом в практике строительства нашли применение следующие способы формирования конструктивной схемы: из стержней размером на одну ячейку; из короткогабаритных элементов решетки и длинногабаритных поясов; из плоскостных ферм; из пространственных стержневых пирамид и сборных линейных элементов.

В последнее время находят применение складные структуры, которые изготавливаются в заводских условиях целиком на определенную секцию здания. В табл. 1 приводятся стержневые схемы структурных плит, нашедшие применение в отечественном и зарубежном строительстве, а так же даются рекомендации в части членения их на отправочные марки.

КЛАССИФИКАЦИЯ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.19. На рис [1.2](#) приводятся наиболее характерные узловые сопряжения элементов структурных плит. При этом в зависимости от способа соединения элементов они подразделены на три основные группы.

I группа - болтовые соединения. К ним относятся узловые соединения, исключая сварку как в заводских, так и монтажных условиях и позволяющие собирать структуры только на болтах либо других сборочных деталях (рис. [1.2](#), а, б, в, г):

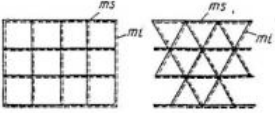
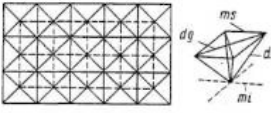
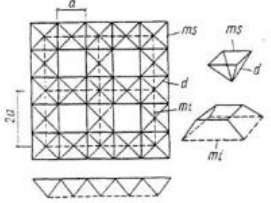
а) соединение угловых стержней на болтах внахлест. Применяется в нижних узлах структурных конструкций системы «ЦНИИСК», работающих преимущественно в одном направлении (рис. [1.2,а](#));

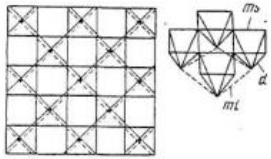
б) соединение типа «Юнистрат». Разработано фирмой «Unistrut Corporation» совместно с лабораторией стальных конструкций Мичиганского университета (США). Узловая фасонка выполнена штамповкой отверстиями и шпонками для соединения на болтах стержней гнутого профиля (рис. [1.2,б](#)). Подобное узловое соединение в отечественном строительстве не нашло применения в

повторяющихся объектах. Однако ввиду большой простоты рекомендуется его освоить для использования в конструкциях серийного изготовления;

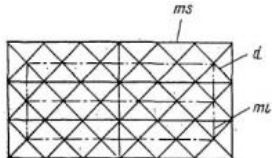
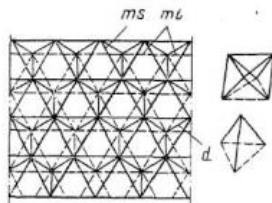
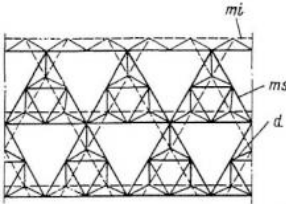
в) соединение системы «Сокол», состоящее из шести тонкостенных пирамидальных деталей, изготовленных из листов с помощью штамповки. Эти детали между собой и с элементами составного гнутого профиля соединяются с помощью болтов нормальной точности. Для обеспечения необходимой жесткости детали узла имеют вокруг отверстия выштампованные выступы;

Таблица 1

Обозначение	Характерные особенности структурных плит	Стержневые схемы	Возможное членение на отправочные марки
А	Перекрестные фермы двух или трех направлений, устанавливаемых вертикально		Плоские фермы
Б	Ортогональные сетки поясов сдвинуты на половину ячейки. Поясные ячейки могут заполняться или не заполняться диагоналями		Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные элементы Плоские или объемные фермы одного направления и доборные элементы другого направления
В	То же, что и система Б с разреженной нижней поясной сеткой и частично разреженной раскосной решеткой		Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные элементы Плоские или объемные фермы одного направления и доборные элементы другого направления

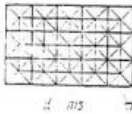
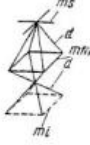
Г	<p>Ортогональные сетки поясов развернуты на 45° относительно друг друга. Разреженная раскосная решетка</p>		<p>Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные</p>
---	--	--	--

Продолжение табл. 1

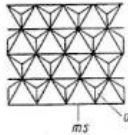
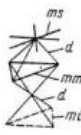
Обозначение	Характерные особенности структурных плит	Стержневые схемы	Возможное членение на отправочные марки
Д	<p>Складчатая система, пояса расположены преимущественно в одном направлении и сдвинуты на половину ячейки</p>		<p>Узлы и стержни Плоские или трехгранные фермы</p>
Е	<p>Сетки поясов трех направлений сдвинуты на половину ячейки</p>		<p>Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные элементы</p>
Ж	<p>То же, что и система Е с разреженной сеткой поясов и раскосной решеткой</p>		<p>Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные элементы Плоские фермочки и доборные элементы</p>
З	<p>Сетки поясов трех направлений сдвинуты. Нижняя сетка разрежена и образует шестиугольные ячейки. Решетки также разрежены</p>		<p>Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные</p>

Продолжение табл. 1

Обозначение	Характерные особенности структурных плит	Стержневые схемы	Возможное членение на отправочные марки
И	Двухъярусные структурные плиты с ортогональными сетками поясов, лежащих друг против друга. Раскосы, относящиеся к одной ячейке, пересекаются		Узлы и стержни Стержневые пирамиды
К	Двухъярусная структурная плита с сетками поясов трех направлений, лежащих друг против друга. Раскосы, относящиеся к одной ячейке, пересекаются		Узлы и стержни Стержневые пирамиды
Л	Двухъярусная структурная плита с сетками поясов трех направлений, сдвинутых на половину ячейки. Раскосы, относящиеся к одной ячейке, пересекаются		Узлы и стержни Стержневые пирамиды

М	<p>Трехъярусная структурная плита с ортогональными сетками поясов. Между верхней и нижней поясной сеткой располагается средняя (третья) поясная сетка. Между средней и нижней поясной сетками раскосы пересекаются</p>			<p>Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные элементы</p>
---	--	---	--	---

Продолжение табл. 1

Обозначение	Характерные особенности структурных плит	Стержневые схемы	Возможное членение на отправочные марки	
Н	<p>Трехъярусная структурная плита с сетками поясов трех направлений при наличии средней третьей поясной сетки</p>			<p>Узлы и стержни Стержневые пирамиды и доборные элементы</p>

Примечание. Сплошная линия - верхние пояса и решетка, пунктирная - нижние пояса; *ms* - верхний пояс, *mi* - нижний пояс, *mm* - средний пояс, *d* - раскосы, *c* - стойки, *dg* - диагонали в плоскости поясов

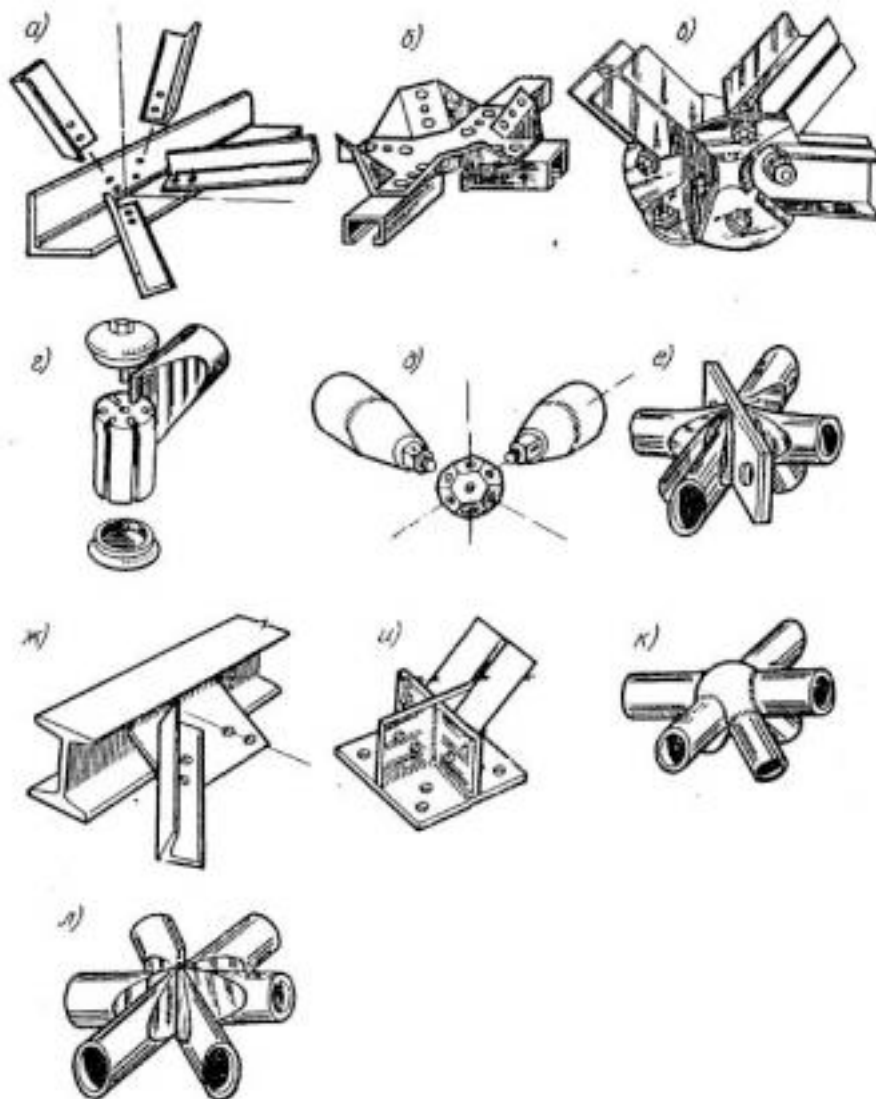


Рис. 1.2. Наиболее характерные узловые сопряжения стержней структурных плит

I группа - болтовые (а, б, в, г);

II группа - комбинированные (д, е, ж, и);

III группа - сварные (к, л)

г) узловое соединение «Триодетик». Разработано фирмой «Fentiman» (Канада). Узловой элемент представляет собой цилиндр, вдоль образующих которого имеются пазы с рифлеными стенками. Концы стержней опрессовываются по профилю пазов, вставляются в цилиндр и фиксируются в прорезях узла двумя крышками, соединенных болтом (рис. 1.2, г). Сборка структурной конструкции с применением данных узлов существенно упрощается, поскольку для завершения требуется постановка только одного болта. Рекомендуется подобное узловое соединение освоить

промышленностью для использования в серийно изготавливаемых конструкциях.

II группа - комбинированные соединения. К этой группе относятся соединения, в которых применяется заводская сварка, а сборка узла осуществляется на болтах. Характерным для этой группы является расчленение узлового соединения на две группы деталей: детали первой группы привариваются в заводских условиях к концам соединяемых стержней (болтовые наконечники, листовые фасонки и т.д.), а детали второй группы в виде шайб, болтов, коннекторов объединяют концы стержней в узел (рис. 1.2, *д, е, ж, и*):

д) узловые соединения системы «МЕРО», разработанные в 1938 г. в Германии; системы «Веймар», разработанные в ГДР, «МАрХИ» и «Кисловодск», разработанные в СССР Московским архитектурным институтом и Гипроспецлегконструкция.

Во всех этих системах основным элементом является сферическое или полусферическое тело с резьбовыми отверстиями, в которые ввинчиваются вращающиеся на концах стержней болты. В системах «МЕРО» и «Веймар» болты к стержням присоединяются с помощью конических наконечников, в системах «МАрХИ» и «Кисловодск» - плоских цилиндрических шайб, приваренных к концам трубчатых стержней, а также поводковых втулок и штифтовых фиксаторов (рис. 1.2, *д*).

В отличие от системы типа «МЕРО» в Японии большое распространение получили узловые соединения трубчатых стержней на полых шарах (система NS), в которых соединительные болты через отверстие в шаре завинчиваются с внутренней его стороны.

е) соединение на фланцах. Разработано ЦНИИПСК для трубчатых стержней и ЛенЗНИИЭП для прокатных применительно к структурным конструкциям, собираемым из пирамид. Основания стержневых пирамид образуют сжатую поясную сетку, узловое соединение которой состоит из двух фланцев с приваренными стержнями поясов и раскосов. Фланцы на монтаже объединяются с помощью болтов (рис. 1.2, *е*)

ж) соединение уголковых профилей на болтах при помощи листовых фасонки, приваренных в заводских условиях к длинноразмерным поясам. Соединение применяется в верхних узлах конструкций системы «ЦНИИСК», работающих преимущественно в одном направлении (рис. 1.2, *ж*);

и) соединение на болтах при помощи пространственных фасонки, свариваемых в заводских условиях из отдельных листов (рис. 1.2, *и*).

III группа - соединения, осуществляемые с применением монтажной сварки (рис. 1.2, *к, л*):

к) соединение конструкции «Октаплатт». Разработано в ФРГ фирмой «Маннесман». К шару привариваются по периметру трубчатые стержни (рис. 1.2, *к*);

л) соединение системы «ЦНИИСК». Концы трубчатых стержней сплющиваются и собираются в пространственном узле; образовавшееся между концами стержней пространство заполняется расплавленным металлом (рис. 1.2, *л*).

1.20. В соответствии с п. 1.19 конструирование узловых соединений может выполняться по трем схемам:

а) объединение стержней без дополнительных элементов (ванная сварка, соединение стержней внахлест и т.д.);

б) объединение стержней с помощью одной узловой детали («Октаплатт», Юнистрат», «Триодетик» и т.д.);

в) объединение стержней с помощью узловых деталей, прикреплённых к стержням, и соединительного элемента («МЕРО», «МАрХИ», «Кисловодск» и т.д.).

1.21. Соединение стержней по схеме *а* требует обеспечения прочности узла структурной конструкции в одном сечении, по схеме *б* - в двух сечениях и по схеме *в* - в трех или четырех сечениях. Чем больше в узловом соединении сечений, требующих обеспечения его прочности, тем более дорогим при всех других равных условиях и трудоемким в изготовлении получается узловое соединение.

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В СТРУКТУРНЫХ ПЛИТАХ

1.22. Регулирование усилий в элементах конструкции производится с целью их уравнивания, что позволяет существенно уменьшить количество типов стержней и улучшить показатели массы конструкции.

Регулирование достигается созданием взаимно уравновешенных внутри конструкции усилий, которые в наиболее нагруженных стержнях обратны по знаку усилиям от эксплуатационной нагрузки, а в менее нагруженных - могут совпадать по знаку с усилиями от эксплуатационной нагрузки.

1.23. К основным способам регулирования усилий в структурных плитах относятся: напряжение их затяжками; осадка опор; установка стержней с отклонением от заданной геометрии.

1.24. Отыскание оптимального решения, обеспечивающего максимальный эффект отрегулирования усилий, рекомендуется осуществлять либо вариантным проектированием, либо с использованием методов линейного программирования.

1.25. Для регулирования усилий в структурных плитах с помощью затяжек рекомендуется использовать канаты из высокопрочной проволоки или круглые стержни из стали повышенной и высокой прочности.

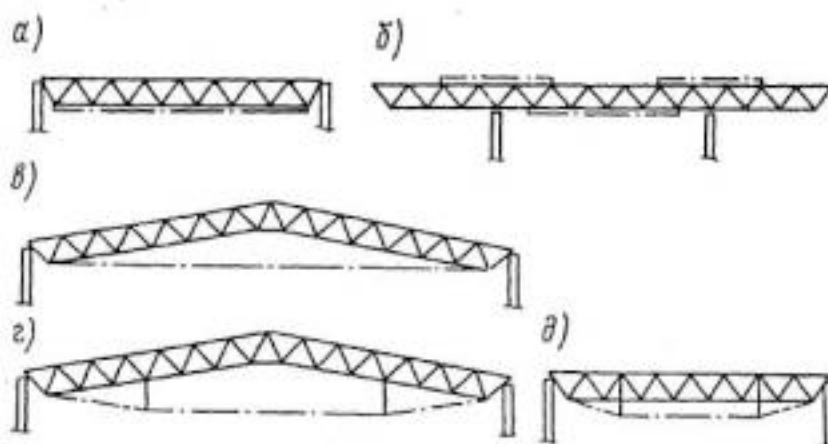


Рис. 1.3. Схемы регулирования усилий с помощью затяжек
а, б - оси напрягающих затяжек и поясных стержней совпадают

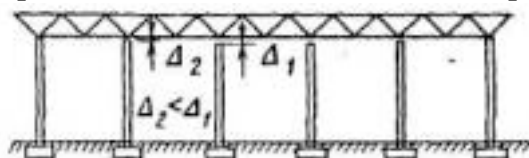


Рис. 1.4. Выравнивание усилий в поясных сетках путем осадки опор

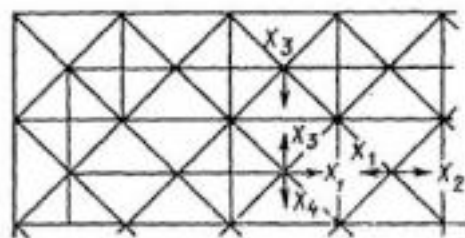


Рис. 1.5. Основная система при регулировании усилий путем постановки некоторых стержней с отклонением от геометрических размеров

На рис. 1.3 показаны схемы регулирования усилий в структурных плитах с помощью затяжек. Для квадратных структурных плит затяжки рекомендуется располагать крестообразно; для прямоугольных плит, опертых по углам, рекомендуется расположение нескольких параллельных друг другу затяжек вдоль большого пролета плиты, при этом напрягающие затяжки и стержни могут быть параллельны или совпадать (см. рис. 1.3, а, б). С помощью каждой из затяжек одновременно напрягаются несколько стержней, расположенных друг за другом. При подобном способе напряжения регулирование усилий достигается в основном в растянутых поясах. Когда затяжки частично или полностью проходят вне структуры (см. рис. 1.3, в, г, д), то при их натяжении происходит выравнивание усилий во всех или в большинстве стержней структурной плиты.

1.26. В прямоугольных или квадратных в плане структурных плитах с ортогональным расположением поясов, шарнирно опертых на несколько колонн по каждой стороне контура, возникает большая разница усилий в поясах, что приводит к увеличенному расходу стали. Получить малоизменяющиеся усилия в поясах можно принудительным выравниванием кривизны вдоль изогнутых осей, что достигается осадкой опор (рис.1.4) [3, 4, 5]. Рекомендуется путем изменения отметок опирания уменьшить изгибающий момент в геометрическом центре за счет некоторого увеличения изгибающего момента вблизи мест опирания.

Экономия металла, получаемая за счет осадок опор, зависит от характера опирания, пролета, высоты структурной плиты, топологии стержневой схемы и т.п. Чаще всего экономия составляет 10-15%. Большой экономический эффект соответствует конструкции с большими пролетами и нагрузками.

Следует иметь в виду, что выравнивание усилий, осуществляемое за счет разностей отметок опирания, можно эффективно применять лишь в структурах с неподатливыми соединениями.

1.27. Регулирование усилий может осуществляться также путем намеренного изготовления отдельных стержней с отклонением от геометрических размеров. В качестве таких стержней следует выбирать те, исключение которых из конструкции не превращает ее в механизм. При принудительном сопряжении этих стержней в узлах структуры, которое достигается приложением определенных усилий

или нагревом, в ряде стержней конструкции возникают усилия, обратные по знаку усилиям от эксплуатационной нагрузки.

На рис. 1.5 приведен пример выбора стержней в структурной плите системы «ЦНИИСК», изготовление которых с отклонением от заданной геометрии обеспечивает предварительное напряжение конструкции. Ввиду наличия в этой плите двух осей симметрии рассматривается ее $1/4$ часть. Неизвестными являются полные усилия X_1, X_2, X_3, X_4 , которые складываются из усилий преднапряжения (начальных усилий) и усилий от внешней нагрузки. В данном случае необходимо найти такое распределение внутренних усилий, которое позволит получить максимально полезную нагрузку.

Поиск оптимальных усилий преднапряжения можно производить симплекс-методом линейного программирования, осуществляя максимизацию целевой функции $Z = KP$, где K параметр нагрузки. Система ограничений составляется из условий прочности и устойчивости отдельных элементов.

Установлено, что в результате создания предварительного напряжения в структурной плите, в ряде случаев, полезную нагрузку можно увеличить до 20 %.

ГРАНИЦЫ НАЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО РАСХОДУ МАТЕРИАЛА ВЫСОТЫ СТРУКТУРНОЙ ПЛИТЫ

1.28. При назначении высоты структурной плиты из совместного рассмотрения условия устойчивости верхних; и прочности нижних поясов ($N_{ма} \leq \varphi R_{yA_{ма}}$; $N_{ми} \leq R_{yA_{ми}}$;) и ограничения плиты по прогибам ($w_{\max} \leq [f]$) можно найти минимальную высоту структурной плиты h_{\min} , при которой одновременно достигается предельное состояние поясов по прочности (устойчивости) и всей конструкции по деформациям.

1.29. Если высоту структурной плиты назначить меньше h_{\min} , то пояса окажутся недонапряженными, поскольку их сечение будет определяться условием второй группы предельных состояний $w_{\max} \leq [f]$. Таким образом, h_{\min} является нижней границей, переходить за которую при проектировании конкретной конструкции не рекомендуется.

1.30. Если высоту структурной плиты назначить больше h_{\min} , прогибы плиты будут меньше допустимых, первое предельное

состояние конструкции будет наступать раньше второго. В этом случае при обеспечении несущей способности решетки становится возможным использование резерва несущей способности поясов при упруго пластической стадии их работы. Таким образом, h_{min} является также границей, выше которой представляется возможным учитывать развитие пластических деформаций, что рекомендуется при проектировании, поскольку этот учет приводит к снижению расхода материалов и уменьшению количества типоразмеров стержней.

1.31. Определение h_{min} производится до выполнения детального расчета по дискретной схеме, вследствие этого рекомендуется прогибы плиты определять приближенно, используя в качестве модели пластину или систему перекрестных ферм. Коэффициент продольного изгиба в верхней сетке поясов рекомендуется принимать осредненным как для одного стержня. При этих упрощающих предпосылках выражение минимальной высоты структурной плиты имеет вид

$$h_{min} = \left(1 + 2,4 \frac{h}{l_i} \right) \beta \frac{\alpha_w}{\alpha_m} \cdot \frac{q_n}{q_d} \cdot \frac{(R_{y,mi} + \varphi_m R_{y,ms})}{E} \cdot \frac{l^2}{[f]}, \quad (1.1)$$

где a_m и a_w - численные коэффициенты в выражениях момента и прогибов, аналогичных по форме, опиранию и загрузению пластинок или перекрестных ферм; q_d, q_n - расчетная и нормативная нагрузка на покрытие; h - высота структурного покрытия; l - пролет покрытия; l_i - меньший пролет при прямоугольной в плане структурной плите и диаметр вписанной окружности при других очертаниях в плане; $[f]$ - допустимый прогиб покрытия; $R_{y,mi}$; $R_{y,ms}$ - расчетные сопротивления материала стержней нижней и верхней поясных сеток; $\beta = 0,77$ для структурных плит, работающих на кручение, и 1 для плит, не работающих на кручение; φ_m - осредненное значение коэффициента продольного изгиба для стержней сжатой поясной сетки

$$\varphi_m = \frac{\sum \varphi_i A_i}{\sum A_i}, \quad (1.2)$$

здесь A_i - площадь i -го поясного стержня; φ_i = коэффициент продольного изгиба i -го поясного стержня,

В качестве примера определим минимальное значение h для треугольной в плане опертой по контуру структурной плиты с поясными сетками, образующими треугольные ячейки (табл. 1Е), пролетом $l = 100$ м. Нормативная нагрузка равна 4000 Па (400 кгс/м²) и расчетная 5000 Па (500 кгс/м²). Верхняя поясная сетка структуры выполнена из стали класса С 38/23 ($R_{y,ms} = 210$ МПа, или 2100 кгс/см²), нижняя - из стали С46/33 ($R_{y,mi} = 290$ МПа, или 2900 кгс/см²). Допускаемый прогиб покрытия $[f] = 1/400$.

Принимаем $h = li/15$ где $l_i = l\sqrt{3}$. Используя справочные данные по расчету пластинок, находим значения коэффициентов $\alpha m = 0,0182$ и $\alpha w = 0,000603$. Значение коэффициента φm продольного изгиба сжатых стержней верхней поясной сетки принимаем осредненным при гибкости стержня $\lambda = 70 - 120$, осредненное значение $\varphi m \approx 0,7$.

Подставив численные значения исходных параметров в формулу, находим, что высота структурной конструкции не должна быть менее

$$h_{\min} = \left(1 + 2,4 \frac{1}{15}\right) 0,77 \frac{0,000603 \cdot 4 \cdot (290 + 0,7 \cdot 210)}{0,0182 \cdot 5 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \times \frac{100^2 \cdot 400}{100} = 1,97 \text{ м.}$$

После вторичного определения h_{\min} при $h/l_i = 1,97\sqrt{3}/100 = 1/29$ получим уточненное значение $h_{\min} = 1,84$ м. Для квадратного в плане опертого по контуру структурного покрытия со стороной, равной 100 м, при той же схеме решетки будем иметь $\alpha m = 0,0464$ и $\alpha w = 0,00406$. После проведения аналогичных вычислений получим минимальную высоту плиты при $[f] = 1/400$, равную 5,2 м, а при $[f] = 1/250$, равную 3,25 м.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТРУКТУР

1.32. При выборе конструктивной схемы структурной плиты рекомендуется, располагая характеристиками объекта (габариты, условия опирания, нагрузки и пр.), осуществить так называемое оптимальное проектирование, в котором на основе приведенных затрат установить основные параметры конструкции, обеспечивающие наивысшие технико-экономические ее показатели.

1.33. Исходными данными для оптимального проектирования являются тип конструктивной схемы и конкретные характеристики объекта.

1.34. Конструктивная схема структурной плиты характеризуется: формой регулярной ячейки; видом применяемых профилей; конструкцией узловых соединений и членением на отправочные марки; способом опирания и типом кровельных конструкций (узловое, внеузловое, прогоны, настил, плиты).

1.35. Характеристики объекта должны включать: генеральные размеры покрытия (секции, плиты) в плане; схему опирания плиты (по контуру, в отдельных точках); расчетную нагрузку в виде эквивалентной равномерно распределенной; характеристики материала и сортамента профилей для стержневых элементов структуры; данные по удельной стоимости кровельных и стеновых ограждений; параметры перекрываемых помещений, определяющие эксплуатационные расходы.

1.36. Результатами оптимизационного проектирования являются: размеры ячейки поясной сетки и высота плиты, обеспечивающие наилучшее по принятому критерию качество проекта; экономические показатели конструкции, соответствующие оптимуму; оценки потерь затрат, возникающих в реальном проекте при отклонении от оптимальных размеров.

1.37. Критерием качества проектного решения или критерием оптимальности искомых размеров следует принимать приведенные затраты.

ОПИРАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПЛИТ

2.32. Сосредоточенная сила, приложенная к узлу структурной конструкции и в том числе опорная реакция, как уже отмечалось, вызывает усилие в первую очередь в примыкающих к узлу стержнях, что позволяет в отличие от иных конструктивных решений осуществлять опирание структур в любых ее узлах. Удачный выбор схемы опирания и правильное проектирование опорной зоны позволяют повысить технико-экономические показатели конструкции с учетом технологических и планировочных параметров проектируемого здания. Экономичные по расходу материалов решения могут быть получены как при определенном расположении

опор по контуру, так и внутри его за счет разгружающего эффекта консольных свесов или регулирования нагрузки на консоли, а также за счет использования опор с развитыми опорными капителями.

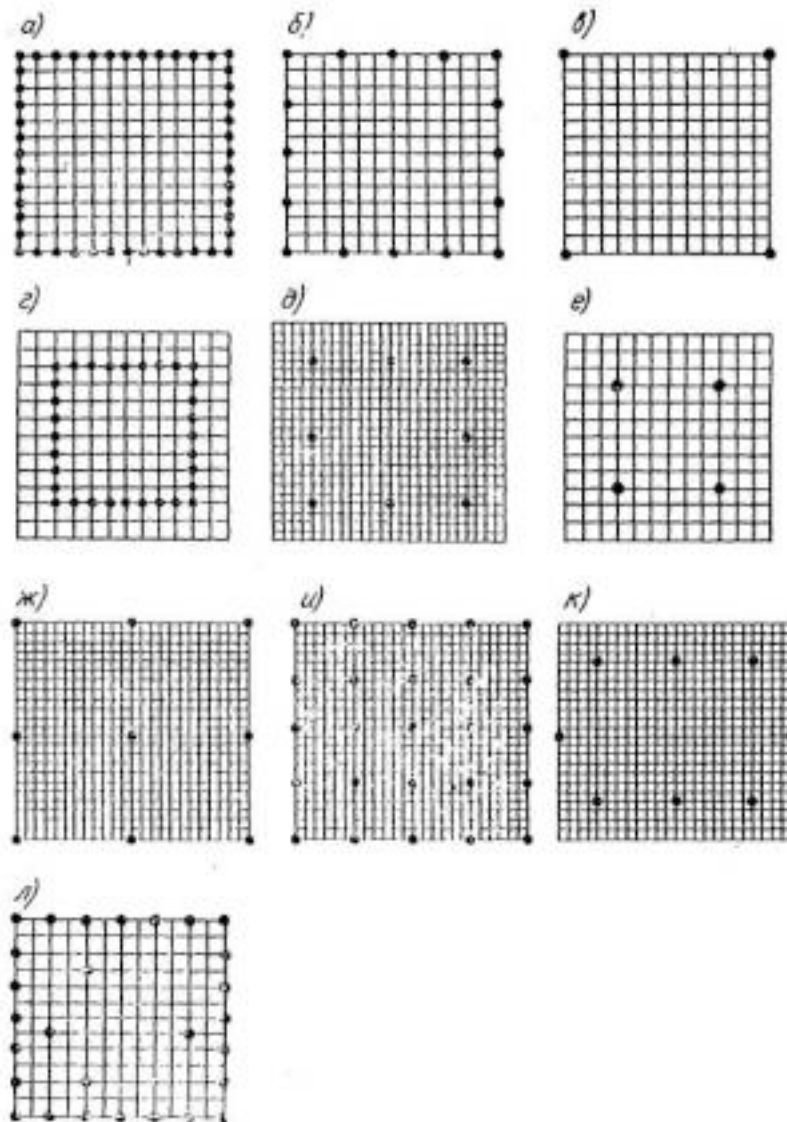


Рис. 2.2. Варианты опирания структурных плит

a, б, в - контурные; *г, д, е* - внутриконтурные; *ж, и, к* - смешанные; *л* - произвольные

2.33. Расположение опор структурных плит по отношению к контуру конструкции подразделяется на четыре основных класса: контурное опирание, при котором опоры, поддерживающие конструкцию, расположены по периметру (рис. 2.2, *a, б, в*); внутриконтурное опирание с консолями (рис. 2.2, *г, д, е*); смешанное опирание при котором опоры расположены частично по контуру и частично внутри контура конструкции, образуя регулярную (рис. 2.2, *ж, и*) или нерегулярную сетку колонн (рис. 2.2, *к*); свободное

опирание, при котором внутренние опоры, а в некоторых случаях и наружные ставятся произвольно в соответствии с технологическими особенностями проектируемого здания (рис. 2.2, л).

2.34 Опирание структурных плит на колонны осуществляется через выступающую опорную капитель в узлы верхнего или нижнего пояса и через встроенную в структурную плиту капитель в виде пирамиды или крестовины.

При необходимости более полного использования внутреннего габарита, а также наличии подвесных кран-балок рекомендуется безкапительный вариант опирания непосредственно в узел.

В гражданском строительстве, а также строительстве специальных промышленных сооружений можно для опирания структурных плит использовать имеющиеся внутренние стены или опоры технологического оборудования в ряде случаев и при произвольном их расположении (рис. 2.2, л). Этот прием может быть рекомендован при одинаковой податливости этих опор и основных колонн сооружения.

2.35. При наличии специальных опор, обеспечивающих шарнирность опорного узла, его анкеровка, необходимая для восприятия горизонтальных усилий, не должна способствовать защемлению опорного узла и возникновению в примыкающих стержнях изгибающих моментов. В тех случаях, когда опорный узел структурной плиты осуществлен с применением опорной плиты с целью снижения неоднородности напряженного состояния под плитой, возникающего при изгибе конструкции, а так же изгибающих моментов, рекомендуется максимально уменьшить площадь опорной части плиты.

При опирании структурных плит на стены рекомендуется предусматривать свободное перемещение (скольжение) некоторых опорных узлов с целью исключения воздействия распора на опорные конструкции.

2.36. При больших пролетах и квадратных планах при опирании по внешнему контуру рекомендуется разрезать опоры до равенства максимального момента в центре и по опорной линии. При наличии угловых опор и одной промежуточной опоры посередине стороны опорного контура дополнительное увеличение количества колонн (по периметру) не приводит к существенному снижению максимального изгибающего момента.

2.37. Наиболее рациональным опиранием квадратной в плане плиты по контуру является опирание каждой стороны на две колонны, расположенные от углов плиты на $1/4$ пролета.

2.38. При внутриконтурном опирании с образованием консольных свесов рекомендуется отношение вылета консоли к пролету назначать в пределах $0,1 - 0,3$.

Максимальный эффект при действии равномерно распределенной по площади нагрузки достигается при отношении вылета консоли к пролету равному $0,25$.

При учете неравномерного распределения снеговой нагрузки (снег в центральной части плит, снег на консоли) оптимальные вылеты консоли определяются соотношением постоянной и временной нагрузок.

2.39. В неразрезных многопролетных покрытиях, проектируемых на постоянной квадратной или прямоугольной сетке колонн, эффект от неразрезности конструкции усиливается с увеличением числа ячеек и достигает максимального значения при шестнадцати ячейках в секции (рис. 2.2, *и*).

Минимальный эффект от неразрезности получается при четырех ячейках в секции (рис. 2.2, *ж*), так как в этом случае возникают значительные изгибающие моменты над средней опорой по осям установки внутренних колонн. Величины этих моментов могут быть несколько уменьшены путем применения развитых опорных капителей, снижающих расчетный пролет и включающих в работу несколько полос поясных стержней. Существенное уменьшение изгибающего момента над средней опорой достигается путем некоторого укорочения средней опоры, при этом путем варьирования этого укорочения выравниваются изгибающие моменты по площади структуры (п. [1.26](#)).

В одноэтажных производственных зданиях, рассчитанных на блочный монтаж, при сетке колонн 12×18 , 12×24 и 18×18 м рекомендуется осуществлять опирание пространственных блоков на четыре точки по углам.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ И ПРИ НАЛИЧИИ КРЫШНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

2.134. Проектирование зданий с применением структурных плит при расчетной сейсмичности зданий 7, 8 и 9 баллов выполняется с учетом требований главы СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах».

Рекомендации по проектированию вертикальных несущих конструкций зданий содержатся в «Руководстве по проектированию одноэтажных и многоэтажных зданий со стальным каркасом в сейсмических районах».

Ниже приводятся дополнительные рекомендации, отражающие особенности проектирования структурных конструкций для сейсмических районов.

2.135. Здания с покрытиями из структурных конструкций рекомендуется проектировать симметричной формы в плане (прямоугольной, квадратной, многоугольной, круглой, овальной), как правило, без перепада смежных участков, с симметричным и равномерным распределением масс и жесткостей конструкций.

При сложных очертаниях в плане или присущественно отличающихся несущих конструкциях здания должны разделяться антисейсмическими швами на отдельные отсеки симметричной формы.

2.136. При проектировании каркасных зданий с неразрезными покрытиями в виде структурных конструкций размеры зданий (отсеков) в плане принимаются по требованиям для несейсмических районов, но не более 150 м.

2.137. Антисейсмические швы должны разделять смежные отсеки зданий по всей высоте. Допускается не устраивать шов в фундаменте, за исключением случаев, когда антисейсмический шов совпадает с осадочным.

Температурные и осадочные швы допускается выполнять как антисейсмические.

Антисейсмические швы выполняются или на парных колоннах или на одинарной колонне с обеспечением требуемой подвижки участков покрытий.

Минимальная ширина антисейсмического шва a , см, назначается в зависимости от высоты здания и определяется расчетом по формуле

$$a = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_0 + 2, \quad (2.1)$$

где Δ_1 и Δ_2 - максимальные перемещения в уровне покрытия, см, двух

смежных отсеков здания, разделенных антисейсмическим швом, при действии нагрузок, определяемых согласно п. [5.17](#); Δ_0 - взаимное смещение смежных отсеков, возникающее при их кренах от эксплуатационных нагрузок, Δ_0 определяются по главе СНиП II-15-74 «Основания зданий и сооружений».

При высоте здания до 5 м ширина шва должна быть не менее 3 см. Для зданий большей высоты минимальную ширину шва следует увеличивать на 2 см. на каждые 5 м высоты.

Заполнение антисейсмических швов не должно препятствовать взаимным смещениям отсеков.

2.138. При проектировании зданий с применением структурных плит рекомендуется принимать типовые решения, разработанные для строительства в сейсмических районах.

Применение не типовых конструктивных решений допускается только после проведения экспериментальных исследований и по согласованию с госстроями союзных республик и соответствующими заводами металлоконструкций.

2.139. При выборе конструктивных решений структурных покрытий, колонн, элементов кровли, стенового ограждения, фахверка и т.п. необходимо обеспечивать снижение сейсмических нагрузок за счет уменьшения массы несущих и ограждающих конструкций, применением легких эффективных материалов.

2.140. Особое внимание при проектировании структурных конструкций для сейсмических районов следует уделять обеспечению четкой передачи инерционных нагрузок (с покрытия на колонны и фундаменты), надежности работы узлов структурных конструкций и их сопряжений с вертикальными несущими конструкциями, обеспечению жесткости диска покрытия в горизонтальной плоскости.

2.141. При привязке структурных плит к условиям конкретной строительной площадки необходимо проводить проверочные расчеты с учетом категории грунтов по сейсмическим свойствам, категории - повторяемости землетрясений, расчетной температуры наружного воздуха и т.п.

2.142. Для структурных плит с консолями предельный вылет консольных свесов не должен превышать 6 м.

2.143. Предельные гибкости элементов структурных конструкций, проектируемых для сейсмических районов, приведены в главе СНиП II-23-81.

2.144. При проверке прочности узлов необходимо учитывать знакопеременность сейсмических нагрузок, при этом влияние концентрации напряжений рекомендуется в максимальной степени снижать конструктивными мероприятиями.

2.145. Узлы сопряжения структурных плит одноэтажных зданий должны обеспечивать, с одной стороны, восприятие передаваемых горизонтальных и вертикальных сейсмических нагрузок и, с другой, - шарнирность сопряжения конструкций.

2.146. Узлы крепления стоек продольного и поперечного фахверка к структурным плитам должны обеспечивать создание шарнирно-неподвижной опоры и передавать местные сейсмические нагрузки со стоек фахверка на верхние пояса структурных плит (рис.2.22).

2.147. При устройстве неразрезных покрытий сопряжения структурных плит в пределах отсека здания должны обеспечивать совместность работы отдельных блоков и жесткость диска покрытия в горизонтальной плоскости, а также должны быть рассчитаны на усилия взаимодействия между плитами.

2.148. Крепление конструкций подвесных кранов должно обеспечивать возможность некоторой подвижки относительно нижних поясов структурных плит.

2.149. При проектировании структурных конструкций для сейсмических районов рекомендуется предусматривать повышенные методы контроля качества сварных и других соединений элементов конструкций.

2.150. При установке на структурные покрытия оборудования с динамическими нагрузками в виде крышных вентиляторов должен быть обеспечен качественный монтаж этого оборудования и виброизоляции, а также контроль за его состоянием в процессе эксплуатации. Существенные отклонения от норм эксплуатационных характеристик оборудования или виброизоляции могут повлечь за собой резкое возрастание динамических нагрузок, что может привести к повреждению несущих конструкций покрытия.

2.151. Учитывая, что с возрастанием статической нагрузки на покрытие частоты его собственных колебаний снижаются, наиболее неблагоприятным динамическим воздействием является низкочастотное, которое характерно для более мощных вентиляторов. Эффективность виброизоляции при низкочастотных воздействиях снижается. В связи с этим рекомендуется, когда это

возможно, вместо мощных вентиляторов применять вентиляторы менее мощные, но в большем количестве.

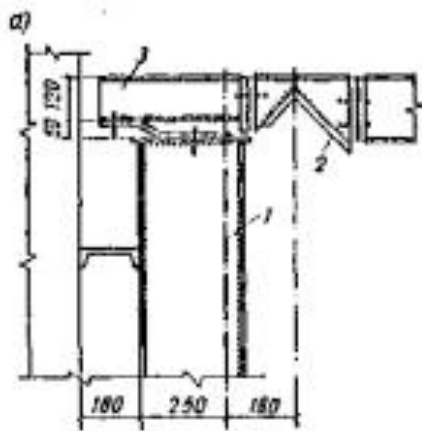


Рис. 2.22. Рекомендуемые крепления стоек фахверка и структурным плитам для сейсмических районов
 а — структурные конструкции системы «ЦНИИСК» (к торцу блока); б — то же, «Кисловодск»; 1 — стойка фахверка; 2 — верхний пояс структурной плиты; 3 — консоль для опирания профилированного настила; 4 — элемент решетчатой конструкции из круглых труб; 5 — прогон; 6 — листовый шарнир; 7 — оголовок стойки фахверка; 8 — болты нормальной точности М16

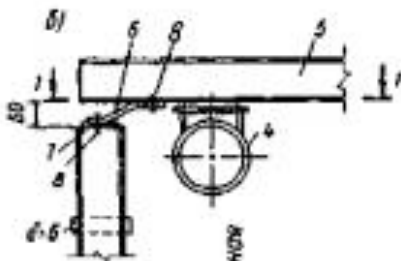
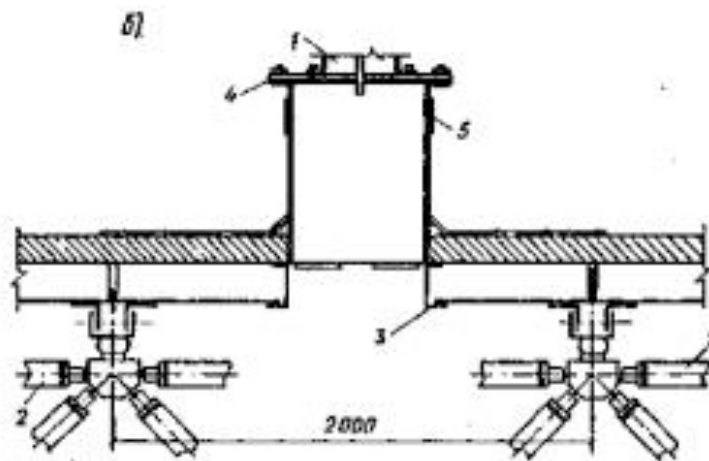
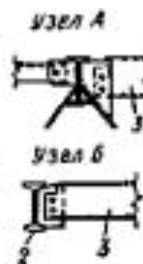
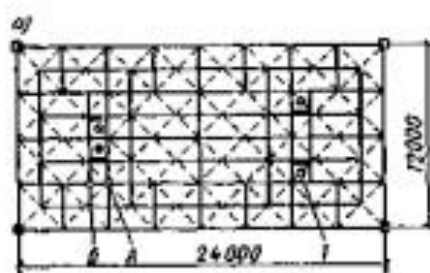
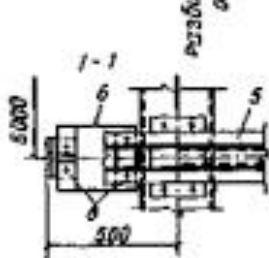


Рис. 2.23. Рекомендуемые схемы установки вентиляторов

а — для конструкций системы «ЦНИИСК»: (сплошная линия — пояса и распорки, пунктирная — раскосы); б — для систем «МАР-ИИ»; 1 — крышный вентилятор; 2 — верхний пояс; 3 — элемент рамы; 4 — фартук из оцинкованного железа; 5 — комут из стального листа $\delta=3$ мм



2.152. Крышные вентиляторы устанавливаются, как правило, на специальные площадки, опирающиеся на верхние пояса структуры, которые рассчитываются на динамические и статические нагрузки. Размещение и крепление опорных площадок необходимо производить с таким расчетом, чтобы схема работы конструкции в целом осталась неизменной. Рекомендуемые места размещения вентиляторов, а также узлы крепления приводятся на рис. 2.23.

2.153. Узловые соединения как при наличии крышных вентиляторов, так и для зданий с расчетной сейсмичностью 8 и 9 баллов должны иметь специальные мероприятия, препятствующие самооткручиванию гаек.