**Металлические конструкции**

Реферат выполнил Сабирзянов И.И. гр. 08-202

Казанская Государственная Архитектурно-Строительная Академия

2003 г.

**Общие сведения.**

С развитием металлургической промышленности растет объем и номенклатура металлических изделий в строительстве и особенно ассортимент из алюминия. Из стального проката возводят каркасы промышленных и гражданских зданий, мосты, изготовляют арматуру для железобетона, кровельную сталь, трубы, а также различные металлические изделия, заклепки, болты, гвозди, шурупы. Различный профиль алюминия используют для изготовления несущих и ограждающих конструкций, ф Широкому использованию металлов в строительстве способствует ряд их ценных технических свойств: высокая прочность, пластичность, повышенная теплопроводность, электропроводность и свариваемость. Наряду с этим металлы, и особенно сталь и чугун, при действии различных газов и влаги сильно корродируют и требуют специальной защиты.

Вопросы экономии металла в отрасли сборного железобетона наряду с проблемой снижения трудоемкости изготовления изделий арматуры имеют большое значение.

К перерасходу металла в строительстве ведут следующие причины: замена арматуры проектных диаметров и классов, а также профилей проката, имеющимися в наличии; технологические потери, обусловленные особенностями производства (отходы концов напрягаемых стержней, используемых для установки захватов, отходов прядей на длинном стенде, на участках между формами и т. д.); отходы при заготовке арматуры и изделий из нее и раскрое проката; прокат арматуры с положительными допусками: брак; разрушение конструкций при контрольных испытаниях.

Причинами перерасхода стали являются нерациональный раскрой металлопроката по чертежам, замена проектных профилей и листов на имеющиеся в наличии больших сечений и толщин, применение стали повышенной и высокой прочности без соответствующего перерасчета конструкций, недостатки в организации поставки металлопроката металлургическими заводами.

Сложившийся удельный вес в строительной индустрии при производстве железобетона и строительных конструкций составляет (%): завышение номинального диаметра арматурной стали— 62,4; плюсовые допуски проката— 12,0; немерные длины свариваемых марок стали — 25,6.

Значительная доля металлических изделий, используемых в строительстве, приходится на стальную арматуру.

Потери металла при производстве арматурных работ обусловлены прежде всего уровнем технологического оборудования и оснастки, особенностями технологии.

Основные причины потерь арматурной стали (удельный вес в общем расходе, %): отходы напрягаемой арматуры — 7,5; отходы при р.аскрое стержней в резке бухт — 2,6; отступления от проекта— 1,0; выпуск бракованной продукции — 0,5.

Разработка и внедрение линий для безотходной сварки и резки арматурных стержней всех классов,

Для предотвращения от коррозии до применения арматура должна быть защищена от атмосферных осадков и других источников увлажнения. Высокопрочную арматуру следует хранить в сухих закрытых складских помещениях с относительной влажностью воздуха не выше 60%. Не допускается хранение такой арматуры на земляном полу, агрессивных или загрязненных агрессивными веществами подкладках, а также вблизи местонахождения или выделения агрессивных веществ (соли, газы, аэрозоли). Допускается хранение без ограничения относительной влажности воздуха высокопрочной арматуры в атмосфере, насыщенной парами летучих ингибиторов, которая может быть создана под герметизированными колпаками, во временных хранилищах, защищенных от атмосферных осадков.

Допустимым коррозионным поражением арматуры считается такое, при котором налет ржавчины может быть удален протиркой .сухой ветошью. При невыполнении указанного условия высокопрочную арматуру подвергают специальной проверке на склонность к хрупкому коррозионному разрушению.

При использовании арматуры с цинковым алюминиевым покрытием не допускается ее правка с помощью станков, вызывающих механическое разрушение покрытия, а при контактной сварке режим должен быть подобран из условия наименьшего повреждения покрытия. Дуговая сварка указанной арматуры не допускается.

Для защиты арматуры, используемой в ячеистых и силикатных бетонах автоклавного твердения, используют защитные покрытия (обмазки) в виде холодной цементно-битумной мастики, горячей ингибированной битумно-цементной или латексно-минеральной и других видов обмазок.

Толщина высушенного защитного покрытия на арматуре должна быть 0,3...0,4 мм при использовании холодной цементно-битумной мастики и не менее 0,5 мм при использовании цементно-полистирольной. При нанесении покрытий в электрическом поле толщина их может быть уменьшена соответственно до 0,2...0,3 мм и 0,4 мм.

Защита арматуры от коррозии, т. е. ее длительная сохранность в процессе эксплуатации железобетонной конструкции, в значительной мере зависит от технологии ее изготовления, за исключением тех случаев, когда используются специальные защитные покрытия, наносимые на поверхность арматуры.

Общая характеристика и основы проектирования металлических конструкций

**2.1 Номенклатура стальных конструкций**

Стальные конструкции используют в различных инженерных сооружениях, которые в зависимости от конструктивной формы и назначения можно разделить на следующие виды.

1. Одноэтажные производственные здания. Такие здания могут быть однопролетными и многопролетными, в том числе с пролетами разной высоты, со встроенными рабочими площадками и многоэтажными вставками. Размеры в плане их весьма разнообразны: от нескольких десятков метров до 1 км и более. Производственные здания обычно оборудуют встроенными транспортными средствами в виде конвейеров, подвесных или мостовых опорных кранов. В бескрановых зданиях используют напольный транспорт (электрокары, погрузчики и пр.).

До недавнего времени стальной каркас разрешалось применять в производственных зданиях при пролетах 24 м и более, высоте более 18 м и при грузоподъемности кранов более 50 т. Сейчас эти ограничения сняты и стальные конструкции находят широкое применение для создания ремонтных мастерских, укрытий для сельхозтехники, навесов, складских помещений и других зданий при пролетах 12 ... 18 м. Получили распространение здания-модули полной заводской готовности на основе арочных конструкций, сводов из объемно-формованного тонкого листа, структурных конструкций (пространственных решетчатых систем).

Наряду со стальными применяют смешанные каркасы, в которых по железобетонным колоннам устанавливают стальные конструкции покрытия и подкрановые пути.

2. Малоэтажные здания. Прежде такие здания строили из кирпича, железобетона, дерева и других традиционных строительных материалов. Сейчас в подобных зданиях используют также сталь и алюминиевые сплавы, из которых делают каркас, обшивку утепленных стен, оконные переплеты, двери, встроенные шкафы, обрешетку перегородок. Освоено изготовление цельнометаллических зданий комплектной поставки "под ключ".

3. Высотные здания. Многоэтажные здания (20 ... 30 этажей и выше) используют главным образом в гражданском строительстве, в условиях плотной застройки больших городов. Их обычно проектируют с четким разделением конструкций на несущие и ограждающие. Функции несущих конструкций выполняет стальной каркас, а ограждающих - легкие стеновые панели из эффективных теплоизоляционных материалов, в том числе панели с обшивками из стали или алюминиевых сплавов.

4. Большепролетные здания. Большие пролеты (50 ... 150 м и более) имеют спортивные сооружения, крытые рынки, выставочные павильоны и некоторые производственные здания (ангары, авиасборочные цехи и др.). Для перекрытия таких пролетов, как правило, используют стальные конструкции. Системы и конструктивные формы большепролетных покрытий очень разнообразны. Здесь возможны балочные, рамные, арочные, купольные, висячие и комбинированные системы, причем как плоские, так и пространственные.

Основной нагрузкой в большепролетных зданиях является собственный вес, для снижения которого рационально применять облегченные ограждающие конструкции, стали повышенной и высокой прочности, различные способы регулирования усилий, .в том числе предварительное напряжение.

5. Мосты, эстакады. Пролетные строения мостов на железных и автомобильных дорогах выполняют из металла при больших (до 1 км и более), а также средних (30...60 м) пролетах. В последнем случае стальным мостам отдают предпочтение при сжатых сроках возведения и при строительстве на стратегических дорогах, учитывая возможность их быстрого восстановления.

Мосты и эстакады имеют разнообразные системы: балочные, арочные, висячие. В балочных системах часто применяют сталежеле-зобетонные балки, объединяя стальные главные балки пролетного строения с железобетонной плитой проезжей части для совместной работы на изгиб.

6. Башни и мачты. Большую группу подобных конструкций составляют антенные устройства для телевидения, радиовещания и многоканальной телефонной связи. При передаче средних волн мачта высотой 200 ... 500 м может выполнять функции излучателя. В иных случаях башни и мачты служат для размещения на определенной высоте проволочной сети или специальных антенных устройств.

Опоры воздушных линий электропередачи служат для передачи электроэнергии по проводам, прикрепленным к опорам через гирлянды изоляторов. Для защиты от молнии над проводами размещают грозозащитные тросы. Высокое напряжение электрического тока, передаваемого по проводам, требует значительного удаления проводов друг от друга и от земли, поэтому высота опор составляет 20 ... 40 м, а при переходе линии через препятствия может достигать 150 м и более.

Вытяжные башни служат для поддержания газоотводящих стволов дымовых и вентиляционных труб. Высота башни, определяемая экологическими требованиями, обычно составляет 80 ... 150 м, хотя имеются башни высотой 600 м.

Башни морских стационарных платформ для добычи нефти и газа устанавливают на континентальном шельфе морей и океанов. Прикрепленная с помощью свай к морскому дну башня поддерживает искусственный островок, на котором размещены буровая вышка, мастерские, вертолетная площадка, жилые помещения и пр. Это, как правило, уникальные сооружения, достигающие глубин 200 ... 300 м и более при ширине основания порядка 70 м. Решетчатую конструкцию такой башни выполняют из труб диаметром 2 ... 4 м при толщине стенок 60 ... 90 мм.

К башенным конструкциям относят также геодезические вышки, промышленные этажерки, надшахтные копры, буровые вышки и др.

7. Листовые конструкции представляют собой тонкостенные пластинки и оболочки различной формы.

Резервуары служат для хранения нефтепродуктов, воды, сжиженных газов, кислот, спиртов и других жидкостей. Применяют резервуары различной формы и размеров с объемом, достигающим 200 тыс. м3. Среди них вертикальные цилиндрические, горизонтальные цилиндрические и сферические резервуары, резервуары с понтоном, с плавающей крышей и многие другие.

Газгольдеры предназначены для хранения, смешивания и выравнивания состава газов. Их включают в газовую сеть между источниками получения газа и его потребителями в качестве своеобразных аккумуляторов. Применяют газгольдеры постоянного объема, в которых газ хранят при высоком давлении, и газгольдеры переменного объема с хранением газа при низком постоянном давлении. Переменность объема обеспечивают подвижными звеньями или шайбой, которая, подобно поршню в цилиндре, перемещается по стенке газгольдера. Вместимость газгольдеров переменного объема достигает 600 тыс. м3.

Бункера и силосы представляют емкости, предназначенные для хранения и перегрузки сыпучих материалов. Силосы отличаются от бункеров сравнительно большим отношением высоты к размерам в плане. Группы бункеров обычно объединяют в бункерные эстакады. Применяют бункера с плоскими стенками и гибкие (висячие).

К листовым конструкциям относят также трубопроводы большого диаметра, некоторые сооружения нефтепереработки, доменного и химического производств.

8. Другие виды конструкций. Это стальные конструкции мостовых, башенных, козловых кранов, кранов-перегружателей, отвальных мостов, крупных экскаваторов, строительных и дорожных машин, затворов и ворот шлюзов гидротехнических сооружений, радиотелескопов, антенн космической связи и др.

**2.2 Достоинства и недостатки стальных конструкций**

Основными достоинствами стальных конструкций по сравнению с конструкциями из других материалов являются надежность, легкость, непроницаемость, индустриальность, а также простота технического перевооружения, ремонта и реконструкции.

[Надежность](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#надежность) стальных конструкций обеспечивается близким соответствием характеристик стали нашим представлениям об идеальном упругом или упругопластическом изотропном материале, для которого строго сформулированы и обоснованы основные положения сопротивления материалов, теории упругости и строительной механики. Сталь имеет однородную мелкозернистую структуру с одинаковыми свойствами по всем направлениям, напряжения связаны с деформациями линейной зависимостью в большом диапазоне, а при некотором значении напряжений может быть реализована идеальная пластичность в виде площадки текучести. Все это соответствует гипотезам и допущениям, взятым за основу при разработке теоретических предпосылок расчета, поэтому расчет, построенный на таких предпосылках, в полной мере соответствует действительной работе стальных конструкций.

Легкость. Из всех изготовляемых в настоящее время несущих конструкций металлические являются самыми легкими. За показатель легкости принимают отношение плотности материала к его прочности. Наименьшее значение этот показатель имеет для алюминиевых сплавов и составляет для сплава Д16-Т 1,1-10-4 м-1. Приняв его за единицу, запишем сравнительные данные для других материалов: сталь - 1,5 ... 3,4, дерево - 4,9, бетон среднего класса прочности - 16,8.

Сравнив две одинаковые конструкции, одна из которых выполнена из алюминиевого сплава, а другая - из железобетона, вы можете прийти к ошибочному выводу, что при прочих равных условиях железобетонная конструкция будет примерно в 16 раз тяжелее. На самом деле это не так и железобетонная конструкция, особенно при больших пролетах, может оказаться более тяжелой. Дело в том, что конструкция несет как бы две нагрузки: полезную, для которой она запроектирована, и неизбежный собственный вес. Например, несущая способность железобетонной плиты покрытия типа ПНС размером 3х6 м равна 4...4,5 кН/м2, из них 1,3...1,5 кН/м2 (т.е. 30%) приходится на собственный вес плиты. Стальная панель такого же размера, изготовленная из профилированного настила и швеллеров, при той же несущей способности будет иметь долю собственного веса 0,45...0,50 кг/м2, что составляет около 10% от общей нагрузки.

Непроницаемость. Металлы обладают не только большой прочностью, но и высокой плотностью - непроницаемостью для газов и жидкостей. Плотность стали и ее соединений, осуществляемых с помощью сварки, является необходимым условием для изготовления резервуаров, газгольдеров, трубопроводов, различных сосудов и аппаратов.

Индустриальность. Стальные конструкции изготовляют на заводах, оснащенных специальным оборудованием, а монтаж производят с использованием высокопроизводительной техники. Все это исключает или до минимума сокращает тяжелый ручной труд.

[Ремонтопригодность.](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#ремонтопригодность) Применительно к стальным конструкциям наиболее просто решаются вопросы усиления, технического перевооружения и реконструкции. С помощью сварки вы можете легко прикрепить к элементам существующего каркаса новое технологическое оборудование, при необходимости усилив эти элементы, что также делается достаточно просто.

Сохраняемостъ металлического фонда. Стальные конструкции в результате физического и морального износа изымаются из эксплуатации, переплавляются и снова используются в народном хозяйстве.

Недостатками стальных конструкций являются их подверженность [коррозии](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#коррозия) и сравнительно малая [огнестойкость](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#огнестойкость). Сталь, не защищенная от контакта с влагой, в сочетании с агрессивными газами, солями, пылью подвергается коррозии. При высоких температурах (для стали - 600°С, для алюминиевых сплавов - 300°С) металлоконструкции теряют свою несущую способность.

При грамотном проектировании и соответствующей эксплуатации эти недостатки не представляют опасности для выполнения конструкцией своих функций, но приводят к повышению начальных и эксплуатационных затрат.

Повышения коррозионной стойкости стальных конструкций достигают включением в сталь специальных легирующих добавок, периодическим покрытием конструкций защитным слоем в виде лаков или красок, а также выбором рациональной конструктивной формы (без 'щелей и пазух, где могут скапливаться влага и пыль).

Повышение огнестойкости стальных конструкций зданий, опасных в пожарном отношении (жилые и общественные здания, склады с горючими или легковоспламеняющимися материалами) осуществляют путем устранения непосредственного контакта конструкций с открытым огнем. Для этого предусматривают подвесные потолки, огнестойкие облицовки, обмазки специальными составами. Используя специальные покрытия в виде обмазок, можно существенно увеличить предел огнестойкости.

**2.3 Требования, предъявляемые к металлическим конструкциям**

При проектировании металлических конструкций должны учитываться следующие основные требования.

Условия эксплуатации. Удовлетворение заданным при проектировании условиям эксплуатации является основным требованием для проектировщика. Оно в основном определяет систему, конструктивную форму сооружения и выбор материала для него.

Экономия металла. Требование экономии металла определяется большой его потребностью во всех отраслях промышленности (машиностроение, транспорт и т. д.) и относительно высокой стоимостью.

В строительных конструкциях металл следует применять лишь в тех случаях, когда замена его другими видами материалов (в первую очередь железобетоном) нерациональна.

Транспортабельность. В связи с изготовлением металлических конструкций, как правило, на заводах с последующей перевозкой на место строительства в проекте должна быть предусмотрена возможность перевозки их целиком пли по частям (отправочными элементами) с применением соответствующих транспортных средств.

Технологичность. Конструкции должны проектироваться с учетом требований технологии изготовления я монтажа с ориентацией на наиболее современные и производительные технологические приемы, обеспечивающие максимальное снижение трудоемкости.

Скоростной монтаж. Конструкция должна соответствовать возможностям сборки ее в наименьшие сроки с учетом имеющегося монтажного оборудования.

[Долговечность](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#долговечность) конструкции определяется сроками ее физического и морального [износа.](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#износ) Физический износ металлических конструкций связан главным образом с процессами [коррозии](http://sapr.mgsu.ru/biblio/kps/slovar/glossary.htm#коррозия). Моральный износ связан с изменением условий эксплуатации.

Эстетичность. Конструкции независимо от их назначения должны обладать гармоничными формами. Особенно существенно это требование для общественных зданий и сооружений.

Все эти требования удовлетворяются конструкторами на основе выработанных наукой и практикой принципов советской школы проектирования и основных направлении ее развития.

Основным принципом советской школы проектирования является достижение трех главных показателей: экономии стали, повышения производительности труда при изготовлении, снижения трудоемкости и сроков монтажа, которые и определяют стоимость конструкции. Несмотря на то что эти показатели часто при реализации вступают в противоречие (так, например, наиболее экономная по расходу стали конструкция часто бывает наиболее трудоемкой в изготовлении и монтаже), советский опыт развития металлических конструкций подтверждает возможность реализации этого принципа.

Экономия металла в металлических конструкциях достигается на основе реализации следующих основных направлений: применения в строительных конструкциях низколегированных и высокопрочных сталей, использования наиболее экономичных прокатных и гнутых профилей, изыскания и внедрения в строительство современных эффективных конструктивных форм и систем (пространственных, предварительно напряженных, висячих, трубчатых и т.п.), совершенствования методов расчета и изыскания оптимальных конструктивных решений с использованием электронно-вычислительной техники.

Эффективно и комплексно производственные требования удовлетворяются на основе типизации конструктивных элементов и целых сооружений.

Типизация металлических конструкций в России получила весьма широкое развитие. Разработаны типовые решения часто повторяющихся конструктивных элементов-колонн, ферм подкрановых балок, оконных и фонарных переплетов. В этих типовых решениях унифицированы размеры элементов и сопряжении. Для некоторых элементов разработаны стандарты.

Разработаны типовые решения таких сооружений, как радиомачты, башни, опоры линий электропередачи, резервуары, газгольдеры, пролетные строения мостов, некоторые виды промышленных зданий, сооружений и т. п.

Типовые решения разработаны на основе применения оптимальных с точки зрения затраты материала, размеров элементов, оптимальной технологии их изготовления ц возможностей транспортирования.

Типизация и проводимая на ее основе унификация и стандартизация обеспечивают большую повторяемость, серийность изготовления конструктивных элементов и их деталей на заводах и, следовательно, способствуют повышению производительности труда, сокращению сроков изготовления на основе эффективного использования более совершенного оборудования и специальных технологических приспособлений (кондукторов, копиров, кантователей и т.п.). Типизация, унификация и стандартизация создают благоприятные условия для разработки и внедрения особенно эффективного поточного метода изготовления и монтажа металлических конструкций.

Типовые проекты обеспечивают экономию металла, упорядочивают проектирование, повышают его качество и сокращают сроки строительства.

Ведущим принципом скоростного монтажа является сборка конструкций в крупные блоки на земле с последующим подъемом их в проектное положение с минимальным количеством монтажных работ наверху. Типизация создает предпосылки для сокращения сроков монтажа, снижения его трудоемкости, так как повторяющиеся виды конструкций и их сопряжении позволяют лучше использовать монтажное оборудование и совершенствовать процесс монтажа.

**Конструкции из металла**

**3.1 Балки и балочные конструкции**

Одним из наиболее распространенных элементов стальных конструкций является балка или элемент, работающий на изгиб.

Область применения балок в строительстве чрезвычайно широка: от небольших элементов рабочих площадок, междуэтажных перекрытий производственных или гражданских зданий до большепролетных балок покрытий, мостов, тяжело нагруженных подкрановых балок и так называемых "хребтовых" балок для подвески котлов в современных тепловых электростанциях. Пролеты мостовых балок достигают 150...200 м, а нагрузка на одну хребтовую балку котельного отделения ГРЭС при пролете до 45 м составляет ~ 60 -103 кН.

**3.1.1 Классификация балок**

По статической схеме различают однопролетные (разрезные), многопролетные (неразрезные) и консольные балки. Разрезные балки проще неразрезных в изготовлении и монтаже, нечувствительны к различным осадкам опор, но уступают последним по расходу металла на 10...12%. Неразрезные балки разумно применять при надежных основаниях, когда нет опасности перегрузки балок вследствие резкой разницы в осадке опор. Консольные балки могут быть как разрезными, так и многопролетными. Консоли разгружают пролетные сечения балок и тем самым повышают экономические показате ли последних.

По типу сечения балки могут быть прокатными либо составными: сварными, клепаными или болтовыми. В строительстве наиболее часто применяют балки двутаврового сечения. Они удобны в компоновке, технологичны и экономичны по расходу металла.

Наибольший экономический эффект (при прочих равных условиях) может быть получен в тонкостенных балках. Хорошим критерием относительной легкости изгибаемого элемента служит безразмерное соотношение η = 3√ W2 / A3 , где W - момент сопротивления, А - площадь сечения.

Для прямоугольного сечения с шириной b и высотой h, если принять для определенности отношение h/b равным 2...6, этот показатель составляет 0,38...0,55, а для отечественных прокатных двутавров - 1,25...1,45, т.е. в принятых условиях двутавр в 3...4 раза выгоднее простого прямоугольного сечения. Кроме двутавра применяют и другие формы сечений. Так, при воздействии на балку значительных крутящих моментов предпочтительнее применение замкнутых, развитых в боковой плоскости сечений, примеры которых показаны.

Экономическая эффективность сечений, таким образом, тесно связана с их тонкостенностью. Предельно возможная тонкостенность прокатных балок определяется не только требованиями местной устойчивости стенок, но и возможностями заводской технологии прокатки профилей. Местная устойчивость стенок составных сечений может быть повышена конструктивными мерами (постановкой ребер жесткости, гофрированием стенок и т.п.).

**3.1.2 Прокатные балки**

Прокатные балки применяют для перекрытия небольших пространств конструктивными элементами ограниченной несущей способности, что связано с имеющейся номенклатурой выпускаемых прокатных профилей. Их используют в балочных клетках; для перекрытия индивидуальных подвалов, гаражей, складских помещений; в качестве прогонов покрытий производственных зданий; в конструкциях эстакад, виадуков, мостов и многих других инженерных сооружениях.

В сравнении с составными прокатные балки более металлоемки за счет увеличенной толщины стенки, но менее трудоемки в изготовлении и более надежны в эксплуатации. За исключением опорных зон и зон приложения значительных сосредоточенных сил, стенки прокатных балок не требуется укреплять ребрами жесткости. Отсутствие сварных швов в областях контакта полок со стенкой существенно уменьшает концентрацию напряжений и снижает уровень начальной дефектности.

**3.1.3 Составные балки**

В тех случаях, когда требуются конструкции, жесткость и несущая способность которых превышает возможности прокатных профилей, используют составные балки. Они могут быть сварными и клепаными, но последние применяют исключительно редко. Наибольшее применение получили балки двутаврового симметричного, реже несимметричного сечений. Такие балки состоят из трех элементов - верхнего и нижнего поясов, объединенных тонкой стенкой. Перспективными являются сечения в виде двутврв, в качестве полок которого используют прокатные тавры и холодногнутые профили.

**3.1.4 Дистальные балки**

Снижение металлоемкости может быть достигнуто за счет использования в одной конструкции двух различных марок сталей. Балки, выполненные из двух марок сталей, называют бистальными. В них целесообразно наиболее напряженные участки поясов выполнять из стали повышенной прочности с Ry = Ry1 (низколегированные стали), а стенку и малонапряженные участки поясов - из малоуглеродистой стали с Ry = Ry2.

В расчетном сечении такой балки при достижении в фибровых волокнах поясов σ = Ry1 в примыкающей к поясам зоне стенки напряжения достигнут предела текучести σw(y>|a|) = Ry1. Центральная часть стенки и пояса находятся в упругой стадии, периферийные зоны стенки - в пластической (условия ограниченной пластичности).

Авторы норм рекомендуют при расчетах прочности таких балок руководствоваться одним из двух критериев.

- Предельных пластических деформаций: пластические деформации допускаются не только в стенке, но и в поясах; вводится ограничение на величину интенсивности пластических деформаций в стенке εip,w ≤ >εip,lim.

- Предельных напряжений в поясах балки: пластические деформации допускаются лишь в стенке; работа поясов ограничена упругой стадией σƒ ≤ > Ry1.

В зависимости от нормы предельной интенсивности пластических деформаций и расчетного критерия, бистальные балки классифицируют по четырем группам.

1. Подкрановые балки под краны с режимом работы 1К-5К (ГОСТ 25546-82), для которых расчеты на прочность выполняют по критерию предельных напряжении в поясе при расчетном сопротивлении стали поясов Rƒ = Ru / γu < Ry, здесь γu = 1,3.

2. Балки, воспринимающие подвижные и вибрационные нагрузки (балки рабочих площадок, бункерных и разгрузочных эстакад. транспортерных галерей и др.), - εip,lim = 0.1 %.

3. Балки, работающие на статические нагрузки (балки перекрытий и покрытий; ригели рам, фахверка и другие изгибаемые, растянуто-изгибаемые и сжато-изгибаемые балочные элементы), - εip,lim = 0,2 %.

4. Балки группы 3, но не подверженные локальным воздействиям, не имеющие продольных ребер жесткости, обладающие повышенной общей и местной устойчивостью, - εip,lim = 0,4%.

В группы 2...4 объединены балки, для которых расчеты на прочность выполняют по критерию ограниченных пластических деформаций.

**3.1.5 Балки замкнутого сечения**

Балки замкнутого сечения обладают рядом преимуществ по сравнению с открытыми. К ним относятся:

- более высокая несущая способность конструкций или их элементов при работе на изгиб в двух плоскостях и на кручение. Материал в замкнутых сечениях располагается в основном в периферийных зонах по отношению к центру тяжести, это обусловливает увеличение моментов инерции и сопротивления относительно оси у (из плоскости элемента) и момента инерции на кручение;

- ввиду существенного увеличения (в десятки раз) момента инерции на кручение в элементах с замкнутыми сечениями, как правило, исключается изгибно-крутильная форма потери устойчивости;

- элементы с замкнутыми сечениями более устойчивы при монтаже, менее подвержены механическим повреждениям во время транспортировки и монтажа.

Несмотря на названные достоинства, конструктивные элементы с замкнутыми сечениями не нашли в настоящее время широкого применения. И объясняется это прежде всего низкой технологичностью и, как следствие, большей трудоемкостью изготовления.

**Конструктивные решения**

Замкнутые, в частности коробчатые, сечения применяют при необходимости увеличения жесткости балок в поперечном направлении, при отсутствии поперечных связей, изгибе в двух плоскостях наличии крутящих моментов, при ограниченной строительной высоте и больших поперечных силах. Подобным силовым воздействиям при названных конструктивных ограничениях подвергаются балочные конструкции мостов, силовых элементов промышленных сооружений, кранов и др. Возможные формы сечения балок представлены на.

Наличие двух стенок делает особенно актуальной задачу уменьшения их толщины при обеспечении местной устойчивости. Конструктивно это достигается либо искривлением стенки, либо постановкой различного типа связей между стенками в форме диафрагм, стяжных болтов и др.

Диафрагмы имеют форму пластинки, а при сильно развитом сечении - форму рамки с прямоугольным или овальным вырезом. В углах диафрагмы имеют скосы такие же, как и в ребрах жесткости балок открытого профиля. Для более равномерного распределения нагрузки между элементами сечения и повышения пространственной жесткости возможно использовать раскосную систему расположения диафрагм с отклонением диафрагм на 30...600 от вертикали или горизонтали. Однако следует иметь в виду, что трудоемкость изготовления диафрагм с наклоном значительно выше, чем вертикальных. Взамен диафрагм для повышения местной устойчивости стенки можно использовать связи между стенками в виде вкладышей со стяжными болтами. В этом случае за счет дополнительных связей между стенками создается пространственная система, обе стенки которой работают совместно, поэтому при расчете из плоскости балки стенку следует рассматривать как составную конструкцию.

С целью экономии стали, так же как и в балках открытого профиля, в балках коробчатого сечения при больших пролетах следует предусматривать изменение сечения по длине балки.

**3.1.6 Балки с гибкой стенкой**

Балки с гибкой (очень тонкой) стенкой появились впервые в конструкциях каркасов летательных аппаратов, где для легкости стенки выполняли зачастую не из металла, а из прочной ткани (перкаль, брезент). Плоская стенка в такой балке теряет устойчивость в начальной стадии нагружения, приобретая вторую устойчивую форму - в виде наклонно гофрированной (у опор, где преобладает сдвиг) либо вспорушенной ( в зонах с преобладающими напряжениями сжатия) поверхности. После снятия нагрузки эти деформации стенок, называемые часто "хлопунами", исчезают. В строительстве стали применять такие балки в 70-е годы текущего века. Они являются дальнейшим воплощением идеи о тесной связи показателей экономической эффективности с понятием тонкостенности. Уменьшение относительной толщины стенки λw = hw / tw в 2...3 раза приводит к снижению расхода металла на стенку на 25...35% и к концентрации металла в поясах, что выгодно по условиям работы на изгиб.

Применение балок с очень тонкими стенками уместно при стабильном направлении действия статических временных нагрузок, поскольку работа таких балок при переменных по направлению подвижных и динамических нагрузках еще недостаточно изучена.

Особенности работы конструкции балок. На первой стадии работы балки ее гибкая стенка остается плоской, как и в обычной балке. Но по протяженности эта стадия работы коротка и заканчивается потерей устойчивости стенки, т.е. переходом в закритическую стадию работы с появлением "хлопунов".

В закритической стадии работы уже не соблюдается линейная зависимость между деформациями стенки и нагрузкой. Развиваются зоны выпучивания стенки с образованием растянутых складок, натяжение которых вызывает местный изгиб поясов балки, а также сжатие поперечных ребер жесткости и изгиб опорных ребер в плоскости стенок. Эта стадия завершается достижением напряжениями предела текучести σy либо в отдельных точках стенки, либо в поясах (или одновременно).

В третьей стадии развиваются пластические деформации в стенке и в поясах. Нарастает прогиб балки; интенсивность роста прогиба к концу этой стадии резко повышается и в отсеках балки образуется пластический механизм - балка приходит в предельное состояние с появлением чрезмерных остаточных деформаций. При дальнейшем, даже незначительном, возрастании нагрузки балка теряет несущую способность либо вследствие потери местной устойчивости полки сжато-изогнутого пояса, либо из-за потери устойчивости пояса в плоскости стенки, как стержня, от действия сжимающей силы и изгибающего момента. Не исключена и общая потеря устойчивости плоской формы изгиба балки, если последняя не раскреплена надлежащим образом от боковых деформаций. Отметим также, что описанные формы потери устойчивости пояса балки могут произойти и не в конце третьей стадии, а даже и на предыдущих стадиях, если размеры элементов пояса выбраны неудачно.

Учет особенностей работы балок с гибкими стенками привел к необходимости разработки адекватных рекомендаций по их конструктивным решениям. Возможно применение балок: с поперечными ребрами, приваренными к стенке - двусторонними и односторонними, или не связанными с нею; без поперечных ребер. Безреберные балки требуют строго центрированного приложения нагрузки в плоскости стенки, ибо пояса их практически не закреплены от закручивания.

Более часто применяют балки с ребрами жесткости, имеющими назначение, как и в обычных балках, для восприятия местных нагрузок от второстепенных балок и для ограничения длины отсека. В работе ребер, подкрепляющих гибкие стенки, есть и свои особенности, определяемые работой стенок в закритической стадии.

Пояса в балках с гибкими стенками работают не только на сжатие, но и на изгиб от натяжения стенки, поэтому целесообразно применять сечения поясов с повышенной жесткостью на изгиб и кручение. По технологичности более предпочтительны сечения с поясами из полосовой стали и широкополочных тавров; при значительных нагрузках возможно применение поясов из прокатных или гнутых швеллеров либо из широкополочных двутавров. Сечения балок с повышенным объемом сварки уступают остальным по трудоемкости изготовления.

По статической схеме балки с гибкой стенкой могут быть разрезными и неразрезными, а по очертанию - постоянной или переменной высоты (двускатные либо односкатные). Применяют такие балки в качестве прогонов, стропильных и подстропильных конструкций пролетом 12...36 м с соотношением постоянных и временных нагрузок 1/1,5...1/2, балок жесткости комбинированных балочно-вантовых систем, балок-стенок бункеров, стенок крупногабаритных вентиляционных коробов, газоводов и т. п.

**3.1.7 Балки с гофрированной стенкой**

Одним из путей снижения металлоемкости балок является гофрирование их стенок. В обычных балках толщина стенок, как правило, определяется не условием прочности, а требованиями местной устойчивости. Постанова поперечных ребер смягчает ситуацию, позволяя уменьшить толщину стенок и одновременно повышая крутильную жесткость балок, так как ребра играют роль диафрагм и обеспечивают неизменяемость контура поперечного сечения. Еще в середине 3-го десятилетия XX в. появилась идея гофрирования стенок балок, которое еще более эффективно обеспечит желаемые результаты. Гибкость таких стенок можно повысить до 300...600, к тому же чем тоньше стенка, тем легче выполнить ее гофрирование.

Толщину гофрированных стенок принимают в пределах 2...8 мм, что обеспечивает им все преимущества, определяемые тонкостенностью. В изготовлении стенок появляется дополнительная технологическая операция - гофрирование - и несколько осложняется сварка поясных швов, но уменьшение толщины стенки и исключение значительного числа ребер жесткости приводят в конечном счете к снижению трудозатрат на изготовление балок на 15...25%. По трудоемкости изготовления и расходу металла балки с гофрированной стенкой выигрывают и у балок с гибкой стенкой благодаря резкому снижению числа ребер жесткости, повышенной крутильной жесткости балок и высокой местной устойчивости стенки.

При выборе конструктивного решения балки с гофрированной стенкой приходится учитывать не только особенности напряженно-деформированного состояния балки под нагрузкой, но и требования технологичности. Наиболее просты и технологичны в изготовлении стенки с треугольными гофрами, но стенки с волнистыми гофрами более устойчивы. Практикуется и применение полос из готового профнастила .

Изготовление балок с гофрированной стенкой целесообразно вести на заводах металлоконструкций, организуя там специальные участки с прессами или иными установками для гофрирования и стендами для сварки поясных швов. Сварочные автоматы должны быть приспособлены для перемещения по ломаным и волнистым линиям примыкания гофрированной стенки к поясу. Плоский лист подается между двумя валками, вращающимися навстречу друг другу. На поверхности валков предусмотрены устройства для закрепления съемных пластин, осуществляющих перегибы плоского листа при повороте валков. Использование съемных пластин различных размеров дает возможность варьировать параметры гофров. Для создания криволинейных гофров требуются более сложные съемные элементы. Волнистые гофры можно получить и прессованием пластин между двумя матрицами, но для варьирования параметров гофров в этом случае требуется довольно большой набор матриц.

Особенности работы и конструкции балок. Уже первые испытания балок с гофрированными стенками выявили особенности напряженного состояния стенок и поясов: нормальные напряжения развиваются в стенках лишь у поясов и быстро падают практически до нуля, поскольку жесткость тонкой стенки поперек гофров очень мала; касательные же напряжения распределяются по высоте стенки почти равномерно. Жестко связанные с поясом гофры передают на него усилия, вызывая в поясе переменный по величине и направлению изгиб в его плоскости.

Балки с гофрированной стенкой дольше работают в упругой стадии, чем балки с гибкой стенкой той же толщины, вплоть до потери устойчивости стенки как ортотропной пластинки. Пояса балок с гофрированной стенкой также работают в лучших условиях, поскольку они не испытывают изгиба в плоскости стенки. Деформативность балок с гофрированной стенкой на 15...20 % ниже, чем у балок с гибкой стенкой с теми же параметрами.

Предельное состояние балки с гофрированной стенкой, как правило, наступает с потерей местной устойчивости стенки под действием местных сосредоточенных сил, если не установлены ребра жесткости под ними. В стенках с треугольными гофрами, работающими на сдвиг, сначала теряет устойчивость плоская полоска гофра, затем потеря устойчивости распространяется на несколько гофров, что можно считать потерей устойчивости стенки как ортотропной пластинки. После этого пояс теряет устойчивость в плоскости стенки так же. как и в балке с гибкой стенкой. В балках с достаточно жесткими гофрированными стенками предельное состояние может наступить из-за развития чрезмерных остаточных деформаций (вторая группа предельных состояний). Свойства гофра определяются толщиной стенки и геометрическими параметрами гофрирования - длиной волны а и высотой волны ƒ. В расчетной практике чаще используют относительные параметры a/hw, ƒ/a и ƒ/tw. Местная устойчивость гофрированных стенок балок может быть повышена, если вместо вертикального гофрирования применить наклонное с нисходящими гофрами. Оптимальный угол наклона гофров к верхнему поясу равен 45...50°. Однако изготовление таких стенок усложняется и, как следствие, балки с наклонно гофрированными стенками широкого применения не нашли. Но надо иметь в виду, что гофры могут быть не только открытыми (когда сечение гофра выходит на край листа), но и глухими, т.е. выштампованными в стенке, не выходящими на край листа. Не исключена возможность гофрирования тонких стенок в готовом изделии, а следовательно, возможно применение глухих наклонных гофров.

Балки с гофрированными стенками проектируют обычно двутаврового сечения с поясами из листов, причем здесь не требуется повышенная жесткость поясов на изгиб и кручение (в отличие от балок с гибкой стенкой); сечение поясов может быть достаточно развитым по ширине и переменным по длине в соответствии с очертанием эпюры изгибающих моментов, что обеспечивает дополнительную экономию металла.

Область применения балок с гофрированной стенкой шире, чем балок с гибкой стенкой: они применимы в подкрановых конструкциях и во всех других случаях, когда требуется повышенная жесткость балок на кручение.

**3.1.8 Балки с перфорированной стенкой**

Стремление повысить эффективность использования металла в работе изгибаемых элементов привела инженеров еще в первых десятилетиях XX в. к оригинальной идее, позволяющей расширить диапазон использования проката. Стенка прокатного двутавра (швеллера) разрезается по зигзагообразной ломаной линии с регулярным шагом с помощью газовой резки или на мощных прессах, и затем обе половины разрезанной балки соединяются сваркой в совмещенных между собой выступах стенки. Конечный результат приводит к увеличению высоты балки и позволяет перераспределить материал сечения, концентрируя его ближе к периферийным волокнам (полкам) и существенно повышая такие геометрические характеристики сечения, как момент инерции и момент сопротивления. Образуется своеобразная конструктивная форма - балка с окнами в стенке.

Изменение высоты исходного сечения в полтора раза повышает примерно во столько же его момент сопротивления и почти вдвое -момент инерции. Малоиспользуемая часть сечения стенки в центральной зоне как бы изымается ( 35...40 % материала стенки), что для большинства балок не представляет какой-либо опасности. Расход металла в таких балках на 20...30 % меньше, чем в обычных прокатных балках, при одновременном снижении стоимости на 10...18%. Дополнительные затраты труда на разрезку и сварку исходного проката невелики: в сравнении со сварными составными двутаврами по трудоемкости изготовления перфорированные балки на 25...35 % эффективнее за счет сокращения объема сварки и значительно меньшей трудоемкости операций обработки.

Особенности работы и конструкции балок. Отверстия в стенке меняют картину напряженного состояния в сечениях балки. Если распределение нормальных напряжений в поясах балки по середине отверстия близко к линейному, то в угловых зонах у отверстий эпюры нормальных напряжений криволинейны, что вызвано концентрацией напряжений. Некоторая криволинейность эпюры нормальных напряжений σx наблюдается и в зоне перемычки стенки (простенка). В стыковом сечении (4-4) простенка появляются нормальные напряжения σy. Все это свидетельствует о концентрации напряжений около отверстий. В большинстве случаев резервы пластичности материала достаточны для того, чтобы сгладить влияние концентраторов напряжений, и на несущую способность балки последние не оказывают заметного влияния. Однако следует иметь в виду, что при циклических или ударных воздействиях, особенно в условиях низких температур, когда развитие пластических деформаций сковано, в углах отверстий могут появиться трещины. В работе поясных тавров в пределах отверстия имеются свои особенности - они находятся под действием поперечных сил, создающих дополнительный изгиб. Предельное состояние пояса характеризуется значительным развитием пластических деформаций, пронизывающих у угла отверстия практически все сечение поясного тавра. Простенок балки работает главным образом на сдвиг, и его несущая способность, как правило, определяется устойчивостью. В предельном состоянии может потерять устойчивость и стенка одного из поясных тавров, поскольку она оказывается сжатой или сжато-изогнутой.

Конструктивные решения балок с перфорированной стенкой отличаются большим разнообразием, определяемым вариабельностью схем разрезки стенки.

Наметив осевую линию разрезки наклонно к полкам после разрезки и разворота одной из половин балки относительно ее центральной вертикальной оси, получают в результате соединения обеих половин балку с наклонным поясом. Таким путем возможно изготовить балки одно - и двускатные, с уклоном как в верхнем, так и в нижнем поясе. Для упрощения конструкции иногда в качестве нижнего пояса используется тавр постоянного по длине сечения. Стремление повысить сечение при умеренном ослаблении поясных тавров и простенков привело к использованию пластинчатых вставок между гребнями соединяемых частей. Это решение может также оказаться высокоэффективным при значительных пролетах и относительно небольшой нагрузке, особенно в тех случаях, когда требуется повышенная изгибная жесткость по условию предельного прогиба. Отверстия, снижающие концентрацию напряжений, удается получить при криволинейных наклонных резах. Разрезку выполняют в этом случае с небольшими отходами металла. Известно также много других вариантов разрезки стенок, имеющих те или иные частные преимущества.

Наиболее часто применяют перфорированные балки с регулярной разрезкой и одинаковой высотой поясных тавров (балки симметричного сечения). Для таких балок очень удобно использовать типовую поточную линию, рассчитанную на одновременную синхронную автоматическую разрезку по копиру двух исходных двутавров. Двутавры закрепляют на специальном многооперационном манипуляторе, позволяющем после разрезки с помощью двухрезаковой машины соединить одинаковые части расчлененных балок между собой, сохраняя фиксацию формы во время сварки и после нее - до остывания готового изделия. Это дает возможность избежать коробления от воздействия начальных и сварочных напряжений и деформаций. При этом концы балок получаются разными: с одной стороны на конце балки создается простенок, а с другой стороны стенка оказывается открытой. Открытую часть заполняют вставкой из листовой стали. Этот же прием (заполнение отверстия листовой вставкой) применяют иногда и в местах опирания значительных сосредоточенных грузов, когда они расположены над отверстиями. Для усиления стенки под большими сосредоточенными грузами и у опор балки ставят поперечные либо торцевые опорные ребра.

**3.2 Колонны и элементы стержневых конструкций**

**Общая характеристика конструкций**

Колонна является древнейшей строительной конструкцией. Более 3000 лет тому назад египтяне вытесывали из камня колонны для надгробных памятников, а в V в. до н.э. колонна заняла центральное место в колоннадах общественных зданий у древних греков и римлян. Такие колонны воздвигались исключительно по эмпирическим правилам, заимствованным из окружающего мира.

Научный подход к изучению проблемы работы сжатых конструкций был начат в XVIII в., когда Петрус Ван-Мусшенбрук построил установку для испытаний на сжатие, а Леонард Эйлер получил свою знаменитую формулу, к которой мы будем неоднократно обращаться. Было установлено, что несущая способность центрально-сжатого стержня обратно пропорциональна квадрату его длины, т.е. в два раза более длинный стержень несет в четыре раза меньшую нагрузку. К сожалению, формула Эйлера, содержащая произвольное целое число, которому в то время не могли найти объяснения, а также слабое соответствие этой формулы экспериментальным данным (как мы сегодня знаем, плохо обоснованным) привели к ее забвению почти на 200 лет. Лишь в конце прошлого века эта формула получила всеобщее признание и дальнейшее развитие, которое продолжалось на фоне острых дискуссий до середины нашего столетия. С существом этих дискуссий мы познакомимся позднее, а сейчас рассмотрим лишь краткую характеристику конструкций, работающих на сжатие.

Колонны, стойки, стрелы кранов и другие продольно сжатые конструкции с точки зрения их расчета имеют общие черты с отдельными элементами, входящими в состав других конструкций или стержневых систем, например со стержнями ферм, элементами связей и т.п. Это позволяет их рассматривать в составе одной главы, но с разной степенью детализации. При всем многообразии такие конструкции имеют общие формальные признаки - все они работают на сжатие или на сжатие с изгибом, а их длина в 10...20 раз и более превышает размеры поперечных сечений. Конструкция состоит из собственно стержня и опорных устройств, технические решения которых зависят от назначения конструкции и особенностей, узловых сопряжении.

По форме силуэта конструкции могут быть постоянного сечения, переменного сечения и ступенчатыми. Изменение сечения по длине позволяет снизить металлоемкость, но незначительно, поэтому такие стержни проектируют из архитектурных соображений либо когда снижение массы приводит к дополнительным эффектам, например в подвижных конструкциях типа крановых стрел.

Типичными представителями сжатых стержневых конструкций являются колонны и стойки, состоящие из стержня, оголовка, базы, иногда консоли. Оголовок служит для опирания и крепления вышележащих конструкций. База выполняет две функции - распределяет усилие, передаваемое колонной на фундамент, снижая напряжение до расчетного сопротивления фундамента, и обеспечивает прикрепление к нему колонны с помощью анкерных болтов. На консоли могут опираться подкрановые балки, стеновые панели, технологические коммуникации и т. п.

Мощные стержни типа колонн, стоек, элементов тяжелых ферм выполняют из одиночных широкополочных двутавров или составляют их из нескольких прокатных профилей. Составные стержни могут быть сплошностенчатыми - сплошными - и сквозными.

Последние в свою очередь делят на стержни с безраскосной решеткой, решетчатые и перфорированные. Ветви (пояса) безраскосных стержней объединяют планками из листовой стали, жесткими вставками или перфорированными листами. Перфорированные стержни могут быть выполнены также гнутосварными из зигзагообразно разрезанных листов или из прокатных профилей, которые после предварительной фигурной резки объединяют в крестообразное сечение. При всей своей привлекательности перфорированные стержни находят ограниченное применение, что связано с дополнительными операциями и необходимостью иметь оборудование для фигурной резки и гибки заготовок в форме гнутых швеллеров или уголков. При изготовлении стоек из перфорированных прокатных профилей необходимы операции правки, так как после резки исходного профиля полученные заготовки изгибаются в разные стороны вследствие наличия в исходном металлопрокате остаточных напряжений.

Элементы стержневых конструкций небольших поперечных размеров проектируют из круглых или прямоугольных труб, одиночных либо спаренных уголков.

По виду напряженного состояния стержни делят на центрально-сжатые, внецентренно сжатые и сжато-изгибаемые. Аналогичную классификацию используют для наименования растянутых элементов.

**3.3 Фермы**

**Общая характеристика и классификация ферм**

Фермой называют систему стержней (обычно прямолинейных), соединенных между собой в узлах и образующих геометрически неизменяемую конструкцию.

Если нагрузка приложена в узлах, а оси элементов фермы пересекаются в одной точке (центре узла), то жесткость узлов несущественно влияет на работу конструкции и в большинстве случаев их можно рассматривать как шарнирные. Тогда все стержни фермы испытывают только осевые усилия (растяжение или сжатие). Благодаря этому металл в фермах используется более рационально, чем в балках, и они экономичнее балок по расходу материала, но более трудоемки в изготовлении, поскольку имеют большое число деталей. С увеличением перекрываемых пролетов и уменьшением нагрузки эффективность ферм по сравнению со сплошностенчатыми балками растет.

Стальные фермы получили широкое распространение во многих областях строительства: в покрытиях и перекрытиях промышленных и гражданских зданий, мостах, опорах линий электропередачи, объектах связи, телевидения и радиовещания (башни, мачты), транспортерных галереях, гидротехнических затворах, грузоподъемных кранах и т.д.

Фермы бывают плоскими (все стержни лежат в одной плоскости) и пространственными.

Плоские фермы могут воспринимать нагрузку, приложенную только в их плоскости, и нуждаются в закреплении из своей плоскости связями или другими элементами. Пространственные фермы образуют жесткий пространственный брус, способный воспринимать нагрузку, действующую в любом направлении. Каждая грань такого бруса представляет собой плоскую ферму. Примером пространственного бруса может служить башенная конструкция.

Основными элементами ферм являются пояса, образующие контур фермы, и решетка, состоящая из раскосов и стоек.

Расстояние между узлами пояса называют панелью (d), расстояние между опорами - пролетом (l), расстояние между осями (или наружными гранями) поясов - высотой фермы (hф).

Пояса ферм работают в основном на продольные усилия и момент (аналогично поясам сплошных балок); решетка ферм воспринимает в основном поперечную силу, выполняя функцию стенки сплошной балки.

Соединения элементов в узлах осуществляют путем непосредственного примыкания одних элементов к другим или с помощью узловых фасонок. Для того чтобы стержни ферм работали в основном на осевые усилия, а влиянием моментов можно было пренебречь, элементы ферм следует центрировать по осям, проходящим через центры тяжести.

В зависимости от назначения, архитектурных требований и схемы приложения нагрузок фермы могут иметь самую разнообразную конструктивную форму. Их можно классифицировать по следующим признакам: статической схеме, очертанию поясов, системе решетки, способу соединения элементов в узлах, величине усилия в элементах.

По статической схеме фермы бывают: балочные (разрезные, неразрезные, консольные), арочные, рамные и вантовые.

В покрытиях зданий, мостах, транспортерных галереях и других подобных сооружениях наибольшее применение нашли балочные разрезные системы . Они просты в изготовлении и монтаже, не требуют устройства сложных опорных узлов, но весьма металлоемки. При больших пролетах (более 40 м) разрезные фермы получаются негабаритными и их приходится собирать из отдельных элементов на монтаже. При числе перекрываемых пролетов два и более применяют неразрезные фермы. Они экономичнее по расходу металла и обладают большей жесткостью, что позволяет уменьшить их высоту. Но как во всяких внешне статически неопределимых системах, в неразрезных фермах при осадке опор возникают дополнительные усилия, поэтому их применение при слабых просадочных основаниях не рекомендуется. Кроме того, необходимость создания неразрезности усложняет монтаж таких конструкций. Консольные фермы используют для навесов, башен, опор воздушных линий электропередач. Рамные системы экономичны по расходу стали, имеют меньшие габариты, однако более сложны при монтаже. Их применение рационально для большепролетных зданий. Применение арочных систем, хотя и дает экономию стали, приводит к увеличению объема помещения и поверхности ограждающих конструкций. Их применение диктуется в основном архитектурными требованиями. В вантовых фермах все стержни работают только на растяжение и могут быть выполнены из гибких элементов, например стальных тросов. Растяжение всех элементов таких ферм достигается выбором очертания поясов и решетки, а также созданием предварительного напряжения. Работа только на растяжение позволяет полностью использовать высокие прочностные свойства стали, поскольку снимаются вопросы устойчивости. Вантовые фермы рациональны для большепролетных перекрытий и в мостах. Промежуточными между фермой и сплошной балкой являются комбинированные системы, состоящие из балки, подкрепленной снизу шпренгелем или раскосами, либо сверху аркой. Подкрепляющие элементы уменьшают изгибающий момент в балке и повышают жесткость системы. Комбинированные системы просты в изготовлении (вследствие меньшего числа элементов) и рациональны в тяжелых конструкциях, а также в конструкциях с подвижными нагрузками. Весьма эффективно применение комбинированных систем при усилении конструкций, например, подкрепление балки, при недостаточной ее несущей способности, шпренгелем или подкосами.

В зависимости от очертания поясов фермы подразделяют на сегментные, полигональные, трапецеидальные, с параллельными поясами и треугольные.

Очертание поясов ферм в значительной степени определяет их экономичность. Теоретически наиболее экономичной по расходу стали является ферма, очерченная по эпюре моментов. Для однопролетной балочной системы с равномерно распределенной нагрузкой это будет сегментная ферма с параболическим поясом . Однако криволинейное очертание пояса повышает трудоемкость изготовления, поэтому такие фермы в настоящее время практически не применяют.

Более приемлемым является полигональное очертание с переломом пояса в каждом узле. Оно достаточно близко соответствует параболическому очертанию эпюры моментов, не требует изготовления криволинейных элементов. Такие фермы иногда применяют для перекрытия больших пролетов и в мостах, т.е. в конструкциях, поставляемых на строительную площадку "россыпью" (из отдельных элементов). Для ферм покрытий обычных зданий, поставляемых на монтаж, как правило, в виде укрупненных отправочных элементов из-за усложнения изготовления эти фермы в настоящее время не применяют. Вы их можете встретить только в старых сооружениях, построенных до 50-х годов.

Фермы трапецеидального очертания , хотя и не совсем соответствуют эпюре моментов, имеют конструктивные преимущества, прежде всего за счет упрощения узлов. Кроме того, применение таких ферм в покрытии позволяет устроить жесткий рамный узел, что повышает жесткость каркаса.

Фермы с параллельными поясами по своему очертанию далеки от эпюры моментов и по расходу стали не экономичны. Однако равные длины элементов решетки, одинаковая схема узлов, наибольшая повторяемость элементов и деталей и возможность их унификации способствует индустриализации их изготовления. Благодаря этим преимуществам фермы с параллельными поясами стали основными для покрытия зданий.

Фермы треугольного очертания рациональны для консольных систем, а также для балочных систем при сосредоточенной нагрузке в середине пролета (подстропильные фермы). При распределенной нагрузке треугольные фермы имеют повышенный расход металла. Кроме того, они имеют ряд конструктивных недостатков. Острый опорный узел сложен и допускает только шарнирное сопряжение с колоннами. Средние раскосы получаются чрезвычайно длинными, и их сечение приходится подбирать по предельной гибкости, что вызывает перерасход металла. Однако в ряде случаев их применение для стропильных конструкций диктуется необходимостью обеспечения большого (свыше 20 %) уклона кровли или требованиями создания одностороннего освещения (шедовые покрытия).

**Системы решетки**

Выбор типа решетки зависит от схемы приложения нагрузок, очертания поясов и конструктивных требований. Так, во избежание изгиба пояса места приложения сосредоточенных нагрузок следует подкреплять элементами решетки. Для обеспечения компактности узлов угол между раскосами и поясом желательно иметь в пределах 30...50°.

Для снижения трудоемкости изготовления ферма должна быть по возможности простой с наименьшим числом элементов и дополнительных деталей.

Треугольная система решетки имеет наименьшую суммарную длину элементов и наименьшее число узлов. Различают фермы с восходящими и нисходящими опорными раскосами. Если опорный раскос идет от нижнего опорного узла фермы к верхнему поясу, то его называют восходящим. При направлении раскоса от опорного узла верхнего пояса к нижнему - нисходящим. В местах приложения сосредоточенных нагрузок (например, в местах опирания прогонов кровли) можно установить дополнительные стойки или подвески. Эти стойки служат также для уменьшения расчетной длины пояса. Стойки и подвески работают только на местную нагрузку.

Недостатком треугольной решетки является наличие длинных сжатых раскосов, что требует дополнительного расхода стали для обеспечения их устойчивости.

В раскосной системе решетки все раскосы имеют усилия одного знака, а стойки - другого. Так, в фермах с параллельными поясами при восходящем раскосе стойки растянуты, а раскосы сжаты; при нисходящем - наоборот. Очевидно, при проектировании ферм следует стремиться, чтобы наиболее длинные элементы были растянуты, а сжатие воспринималось короткими элементами. Раскосная решетка более металлоемка и трудоемка по сравнению с треугольной, так как общая длина элементов решетки больше и в ней больше узлов. Применение раскосной решетки целесообразно при малой высоте ферм и больших узловых нагрузках.

Шпренгельную решетку применяют при внеузловом приложении сосредоточенных нагрузок к верхнему поясу, а также при необходимости уменьшения расчетной длины пояса. Она более трудоемка, но в результате исключения работы пояса на изгиб и уменьшения его расчетной длины может обеспечить снижение расхода стали.

Если нагрузка на ферму может действовать как в одном, так и в другом направлении (например, ветровая нагрузка), то целесообразно применение крестовой решетки. Раскосы такой решетки могут быть выполнены из гибких элементов. В этом случае сжатые раскосы вследствие большой гибкости выключаются из работы и решетка работает как раскосная с растянутыми раскосами и сжатыми стойками.

В фермах с поясами из тавров можно применить перекрестную решетку из одиночных уголков с креплением раскосов непосредственно к стенке тавра.

Ромбическая и полураскосная решетки благодаря двум системам раскосов обладают большой жесткостью; эти системы применяют в мостах, башнях, мачтах, связях для уменьшения расчетной длины стержней. Они рациональны при большой высоте ферм и работе конструкций на значительные поперечные силы.

Возможна в одной ферме комбинация различных типов решетки.

По способу соединения элементов в узлах фермы подразделяют на сварные и болтовые. В конструкциях, изготовленных до 50-х годов, применялись также клепаные соединения. Основными типами ферм являются сварные. Болтовые соединения, как правило, на высокопрочных болтах применяют в монтажных узлах.

По величине максимальных усилий условно различают легкие фермы с сечениями элементов из простых прокатных или гнутых профилей (при усилиях в стержнях N<3000кН) и тяжелые фермы с элементами составного сечения (N >3000кН).

Эффективность ферм может быть повышена при создании в них предварительного напряжения.

Из всего многообразия ферм в настоящем пособии рассмотрены только легкие разрезные балочные фермы, имеющие наиболее широкое применение

**3.4 Технологические площадки**

**3.4.1 Общие сведения. Классификация**

Площадки предназначены для размещения технологического оборудования, организации его обслуживания, ремонта и состоят из несущих балок, настила, лестниц и ограждения. В зависимости от величины полезной нагрузки и назначения площадки подразделяют на три группы.

1. Площадки под тяжелое стационарное оборудование и подвижную нагрузку (рабочая площадка сталелитейных и литейных цехов, главных корпусов ТЭЦ и т.п.) с полезной нагрузкой р > 20 кН/м2.

2. Ремонтные площадки ходовых колес кранов, площадки под транспортеры, трубопроводы, вентиляторы с р =4...20 кН/м2.

3. Посадочные площадки на опорные (мостовые) и подвесные краны, смотровые площадки с полезной нагрузкой р = 2,0…4,0 кН/м2.

Площадки первой группы выполняют в виде самостоятельных встроенных в здание сооружений. Такие площадки опираются на отдельные колонны, сетка которых обычно кратна модулю, принятому в строительстве (М = 6 м или реже 3 м). По колоннам устанавливают систему несущих балок (балочную клетку) и устраивают настил. Геометрическую неизменяемость такого встроенного сооружения и его жесткость обеспечивают системой вертикальных связей.

Площадки второй группы обычно выполняют в виде стального настила из плоской или рифленой стали, подкрепленного снизу ребрами жесткости из стальной полосы или уголков. Балки площадок опирают на кронштейны, которые в свою очередь крепят к стенам, колоннам, ветровым фермам торцевых стен зданий либо в качестве балок площадки используют подкрановые балки, к которым крепят рифленый стальной лист. Иногда балки опирают на отдельные колонны, аналогично площадкам первой группы.

Площадки третьей группы чаще всего собирают из унифицированных стальных элементов (балок, настила, лестниц). Балки этих площадок крепят, как правило, к основным несущим конструкциям здания (колоннам, стенам, подкрановым балкам, стропильным конструкциям) или к конструкциям технологического оборудования.

В качестве настила применяют листы из плоской или рифленой стали с подкреплением их ребрами жесткости, плиты из сборного железобетона, а также железобетонный настил, выполняемый по опалубке из стального гофрированного листа (сталежелезобетонный настил).

Стальной настил в площадках первой группы применяют, если возможно быстрое разрушение бетона от действия высоких температур и больших циклических нагрузок (сталелитейные и литейные цехи).

**3.4.2 Балочные клетки**

Схемы балочных клеток определяются расположением оборудования и типом настила. Выбирают их из условия обеспечения наименьших затрат металла, бетона и труда на изготовление и монтаж, для чего схемы балочных клеток применяют с наиболее коротким и простым путем передачи нагрузки на колонны или другие опоры.

Балки настила в плане размещают с постоянным шагом по длине поддерживающих их балок (главных или второстепенных), шаг этих балок определяется несущей способностью и жесткостью настила, Необходимо иметь в виду, что при уменьшении шага балок настила толщина последнего и суммарный расход материалов на настил к поддерживающие его балки будут уменьшаться до определенного предела, после которого сечения балок будут определяться не условиями прочности, а требованиями жесткости, и может оказаться целесообразным увеличить шаг балок.

Главные балки ориентируют в направлении большего шага колонн (продольного или поперечного) и проектируют обычно разрезными. Учитывая значительные пролеты главных балок, составляющие, как правило, 9...12 м и более, их проектируют составного двутаврового сечения с членением при необходимости на отправочные элементы. На монтаже отправочные элементы объединяют в единую конструкцию сваркой либо высокопрочными болтами с накладками.

Балки настила проектируют двутаврового или реже швеллерного сечения. Необходимо иметь в виду, что в площадках с балочной клеткой нормального и усложненного типов прокатные балки рациональны при пролетах до 8...9 м, нагрузках до 10...12 кН/м2 и железобетонном настиле. Если расстояние между главными балками более 9 м. то экономичнее переходить на балочную клетку усложненного типа с 2...3 вспомогательными балками, которые выполняют двутаврового и таврового сечения или из уголков.

Балки настила можно проектировать разрезными и неразрезными. Последняя статическая схема удобнее при этажном сопряжении балок (рис. 5.15, в). В плане второстепенные балки размешаются либо с постоянным шагом по длине поддерживающих их балок при равномерно распределенной полезной нагрузке, либо с нерегулярным шагом при установке на площадке стационарного оборудования. Шаг балок настила определяется конструкцией настила и величиной полезной нагрузки.

**3.4.3 Настилы**

В конструкциях технологических площадок применяют стальные сплошные настилы из плоского или рифленого листа, железобетонные (из сборных плит или монолитной плиты) и сталежелезобетонные

Выбор материала настила и его конструктивное решение (стационарный или съемный щитовой) выбирают с учетом технологического назначения площадки, характера и величины полезной нагрузки, температурно-влажностного режима эксплуатации, агрессивности среды, экономического фактора.

Поверх несущего настила часто устраивают защитный настил (асфальтовый или бетонный пол толщиной 40...60 мм на несущем железобетонном настиле, деревянный из торцевых брусков - на стальном).

Щиты съемных настилов могут иметь размеры в плане до 3х12 м (для ручного открывания щиты, как правило, имеют меньшие размеры и массу не более 75 кг). Щиты состоят из системы второстепенных и вспомогательных балок, стального настила, подкрепленного ребрами жесткости, и укладываются на поддерживающие главные балки. Применение подобного конструктивного решения повышает степень заводской готовности и снижает трудозатраты при монтаже.

Полезную нагрузку на настил принимают по технологическому заданию, которая может достигать 40 кН/м2; вертикальные относительные прогибы настила не должны превышать требований норм; их увязывают с пролетом настила ln. Так, при ln ≤ 1,0 м предельный относительный прогиб принимают [ƒ/l] = 1/120; при ln = 3,0 м - 1/150; при ln=6,0 м - 1/200.

**3.4.4 Лестницы и переходные площадки**

Настилы технологических площадок могут располагаться в один или несколько ярусов в зависимости от вида оборудования и его высоты. Для доступа обслуживающего персонала к технологическому оборудованию устраиваются лестницы в виде лестничных маршей или стремянок.

Лестничные марши состоят из косоуров (тетивы), опорных элементов, ступеней, ограждения (перил, стоек) и устанавливаются с углом наклона α = 45° и 60°, который зависит от частоты обслуживания оборудования и наличия свободных площадей для размещения лестниц. При большой частоте использования лестницы принимается угол наклона α = 45°. Для последних ширину маршей (расстояние между перилами ограждения) принимают 600, 800 и 1000 мм с шагом ступеней 200 мм. Марши с углом наклона 60° выполняют шириной 600 и 800 мм с шагом ступеней 300 мм. Проектирование лестниц производят в соответствии с указаниями типовой серии 1.459-2 "Стальные лестницы, переходные площадки и ограждения".

Тетиву выполняют из холодногнутого профиля гн [180х50х4 или прокатных швеллеров N16; 18. Расчетную схему тетивы принимают в виде однопролетной наклонной балки при одномаршевой лестнице или многопролетной балки ломаного очертания при двух- и более маршевой прямой лестнице. Косоуры работают на поперечный изгиб от массы металлоконструкций лестниц и полезной нагрузки, которая в соответствии с указаниями норм принимается в виде вертикальной сосредоточенной силы Рн = 1,5 кН, расположенной на площадке длиной 10 см по середине пролета косоура. Относительный прогиб марша не должен превышать 1/150 при длине лестницы 3 м и 1/120 при длине 6 м. Коэффициент надежности по нагрузке принимают равным 1,2.

Ступени лестниц изготовляют из стального листа: гнутые из рифленой стали t=4 мм, гнутые из просечно-вытяжного листа с отгибом подступенка из непросеченной части листа, ребристые из полос 40х4 или арматурной стали 16...20 мм с подступенком из прокатного уголка 1,50х5 и из штампованных профилированных элементов швеллерного сечения. Все типы ступеней изготовляют шириной 200 мм. Переходные площадки применяют при высоте лестниц h> 6 м и при устройстве поворотов лестничных маршей. Ширину площадок назначают равной ширине марша. Длину площадок (пролет между опорами) принимают в зависимости от полезной нагрузки в пределах 600...6000 мм: при длине 600...2400 мм, кратной 300 мм, более 2400 мм - кратной 600 мм. Переходные площадки состоят из стального настила (применяют тот же материал, что и для ступеней маршей), ребер жесткости и балок площадки. Настил приваривают к продольным балкам.

Переходные площадки крепят к стенам и колоннам каркаса здания или несущим элементам технологического оборудования кронштейнами и консольными балками.

Высоту перил принимают равной 900 мм, шаг стоек - 600...1000 мм. Поручни и стойки перил можно выполнять из специального гнутого стального профиля 50х40х12х2,5, из прямоугольной трубы 60х40х2,5, квадратной 40х40х2,5 или из равнополочных уголков 45х4, 50х5; промежуточную горизонтальную распорку выполняют из уголка 25х3 или полосы 40х4 .

Поручни рассчитывают как многопролетную балку, опорами которой служат стойки перил, на горизонтальную распределенную нагрузку интенсивностью рп = 0,8 кН/м, если же технологическая площадка предназначена для непродолжительного пребывания людей (например, посадочная площадка на мостовой кран), то расчет перил ведут на горизонтальную сосредоточенную нагрузку интенсивностью Pп = 0,8 кН. Стойки перил рассчитывают как консольные элементы, загруженные сосредоточенной горизонтальной нагрузкой, равной отпору поручня перил. Предельный относительный прогиб перил не должен превышать 1/150 их пролета и 1/120 - для стоек. Коэффициент надежности по нагрузке при расчете элементов перил назначают равным 1,2.

Стремянки применяют в тех случаях, когда невозможно или нецелесообразно ставить лестницы из-за их редкого использования (например, подъем одного рабочего один-два раза в смену). Угол наклона стремянок принимают равным 90°. ширину 600 мм и высоту от 2400 до 6000 мм. Стремянки состоят из тетивы, ступеней и ограждения. Тетиву изготовляют обычно из 75х6, к пей приваривают ступени из прутка 18 мм с шагом 300 мм.

**Список литературы**

Стрелецкий Н. С., Стрелецкий Д. Н., Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций, М., 1964 (Материалы к курсу металлических конструкций, в.4);

Мельников Н. П., Металлические конструкции за рубежом, М., 1971; Строительные нормы и правила, ч. 2, раздел В, гл. 3.

В.Г. Микульский. Г.И.Горчаков. Строительные материалы. АВС 2002г.