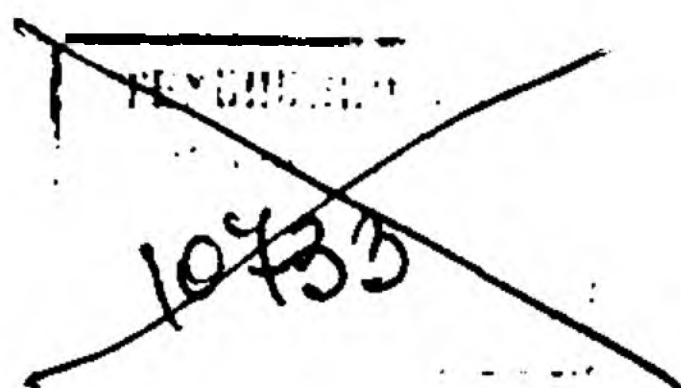


Ян Брудка

ТРУБЧАТЫЕ СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

*(Перевод с польского
И. В. Зайцевой и А. Ф. Кравцова)*



МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1975

Бродка Ян Трубчатые стальные конструкции. Пер. с польск. М., Стройиздат, 1975.

В книге рассмотрены вопросы расчета, проектирования и производства трубчатых стальных конструкций, а также область применения, материалы для изготовления, способы соединения и антикоррозионной защиты стальных труб круглого сечения.

Методы расчета иллюстрируются числовыми примерами, конструкторские решения – рисунками и описаниями сооружений, сооруженных в Польше и за границей. Приведенные в книге таблицы и номограммы могут служить пособием при проектировании трубчатых стальных конструкций.

Книга предназначена для инженеров-строителей, проектировщиков и производственников, а также для студентов строительных вузов.

В книге приведены нормы, действовавшие в 1968 г. Для пользования ими в настоящее время необходимо учитывать все позднейшие изменения и дополнения. Обозначения сталей даны по оригиналу.

Табл. 22, ил. 171.

Dr inż. JAN BRODKA
RUROWE KONSTRUKCJE STALOWE
ARKADY
WARSZAWA 1968

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Использование труб в стальных строительных конструкциях стало возможным благодаря развитию методов сварки, так как другие способы соединения труб мало-пригодны из-за неплоскостности соединяемых поверхностей.

Однако в течение ряда лет, несмотря на использование сварки для соединения стальных строительных конструкций, трубы все еще не находили широкого применения в несущих конструкциях из-за высокой стоимости производства конструкций (отсутствовало оборудование для резки труб) и опасения, что сварные соединения не всегда будут иметь достаточную несущую способность.

Благодаря развитию техники сварки и производству механизмов, облегчающих заводские операции, стало возможным оборудовать производственные предприятия таким образом, что трубчатые конструкции обходились не дороже конструкций из других горячекатаных профилей.

На многих опытных объектах исследовалась несущая способность различных трубчатых соединений. Результаты исследований показали, каким условиям должно отвечать соединение, чтобы создавалась необходимая несущая способность.

В данной монографии будут рассмотрены вопросы, непосредственно связанные только со спецификой трубчатых стальных конструкций. Вопросы, общие для всех стальных конструкций, в работе не освещаются.

1.2. ОЧЕРК ИСТОРИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

В XIX в. инженеры-строители первых железнодорожных мостов больших пролетов знали не только о применении трубчатого сечения, но и его несущие и конструктивные свойства. Преодолевая многие трудности, они возводили сооружения, которые по сей день являются тому подтвер-

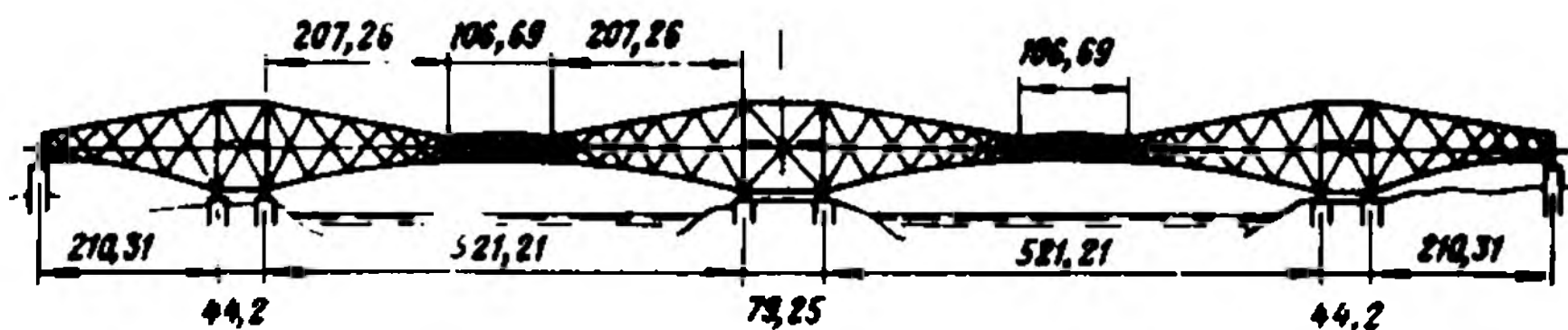


Рис. 1.1. Схема моста над заливом Ферт-оф-Форт в Швеции

ждением. Мост "Британия", спроектированный Р. Стивенсоном и В. Фэрбэрном, выполнен из трубчатых конструкций прямоугольного сечения. По проекту Дж. Брунеля в 1848 г. в Сальташе (Англия) построен мост "Роэл Альберт". Длина пролетов моста 139 м, высота над уровнем воды 30,5 м. Верхний пояс фермы выполнен из труб эллиптического сечения. Мост и сегодня находится в эксплуатации.

Мост через залив "Ферт-оф-Форт" в Швеции (рис. 1.1) — один из наиболее известных в мире — построен в 1882–1890 гг. по проекту Дж. Фоулера и Б. Бекера. Его пояса выполнены из мощных клепаных труб диаметром 3,6 м и поперечным сечением примерно 5600 см^2 . Для раскосов и опор также применены трубы, которые для увеличения устойчивости были в нижних частях расширены.

Начало производства катаных труб относится к 1886 г. Однако из-за малого сечения они не нашли применения в клепаных конструкциях. Первые заслуживающие внимания конструкции из таких труб были выполнены только в 1925–1935 гг. после того, как были освоены первые методы сварки стали. К этим конструкциям относятся: мост в Весберге через р. Трисанна, мост в Кодунге (Бирма), башня в Медиолане, вышка для прыжков в воду в Берлине. В Польше первая значительная трубчатая конструкция применена (1933 г.) для строительства почтовой сберегательной кассы в Варшаве (рис. 1.2). Крыша здания представляет собой фонарь над залом длиной 25,4 м. Нижний пояс фермы собран с учетом архитектурных требований, а высота фермы в центре определена необходимостью свободного доступа к оборудованию, размещенному внутри купола. Автор проекта конструкции — проф. Стефан Брыля.

С этого времени в мире началось широкое использование трубчатых конструкций, особенно при строительстве

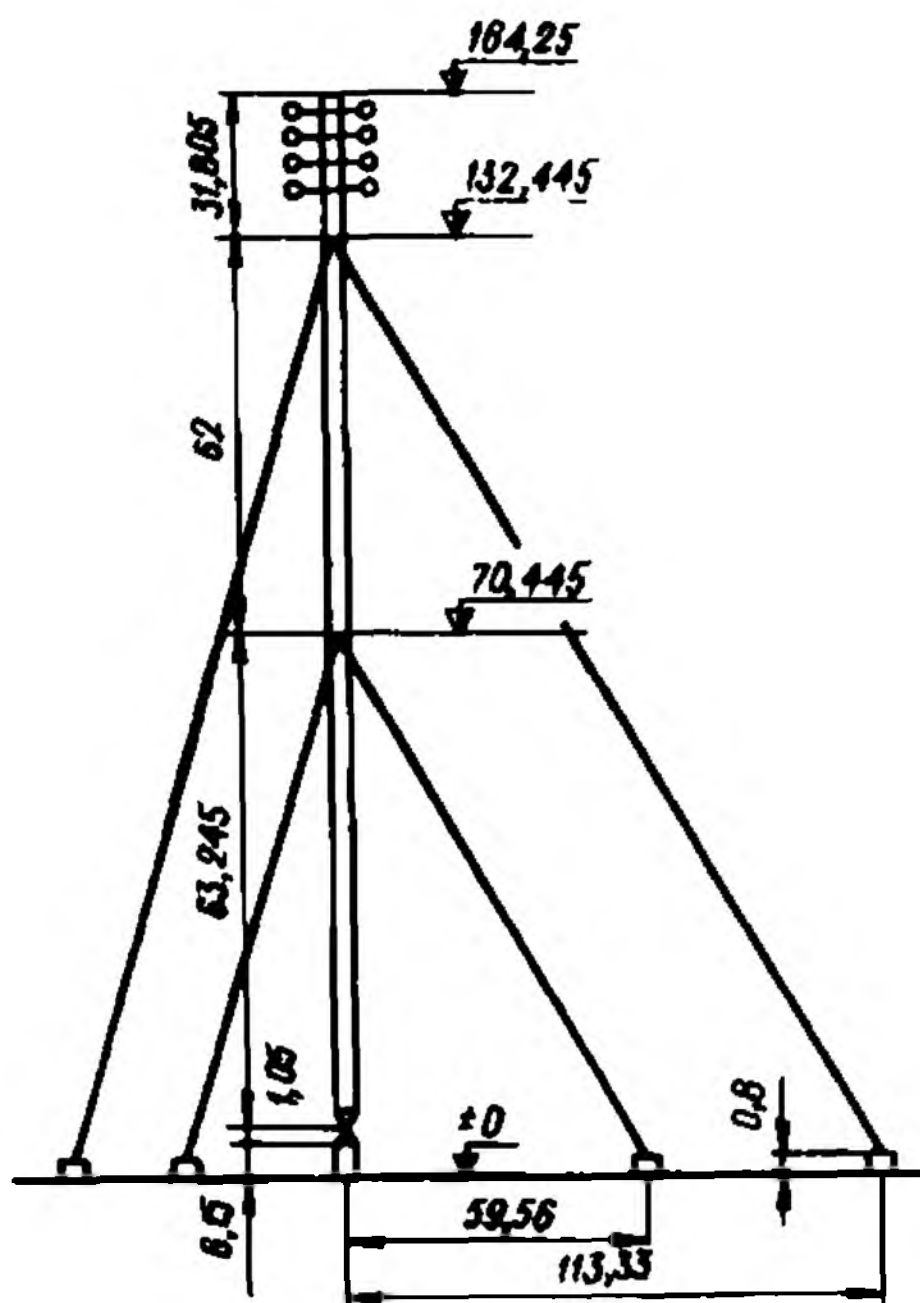


Рис. 1.3. Радиомачта
(Польша)

мачт (рис. 1.3), вышек, куполов покрытий средних и больших пролетов, подвесных трубопроводов опор высоковольтных линий мостов, кранов, временных разборных строений и других самых разнообразных сооружений.

Сначала сварные узлы трубчатых конструкций выполнялись так же, как и клепаные элементы, из уголковой стали или стали других прокатных профилей. Только значительно позднее, после 1945 г., стали рационально использовать профили круглого сечения.

1.3. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Сфера применения труб в стальных конструкциях, так же как и других горячекатаных профилей, весьма широка. Ввиду того что трубы обеспечивают большую пролетность конструкций и выдерживают значительные нагрузки, их широко применяют для главных и второстепенных элементов постоянных и временных конструкций. Особенно целесообразно применение труб:

в промышленном строительстве (заводские цехи, склады, эстакады и т.д.);

в коммунальном строительстве (торговые залы, выставочные павильоны и т.п.);

в жилищном строительстве в качестве каркасов зданий; при строительстве спортивных сооружений (трибуны, трамплины и т.п.);

для строительства вышек и мачт (подъемные вышки на шахтах, радарные антенны, радио- и телебашни);

для строительства мостов и подъемников;

для вспомогательных конструкций (монтажные леса, подмости и т.д.).

Из труб могут выполняться не только законченные сооружения, но и отдельные элементы (например, фермы покрытий, стропила, фонари, подкрановые балки и т.п.).

Трубы можно использовать так же, как отдельные стержни элементов конструкций (например, раскосы, стойки ферм) и, кроме того, как отдельные строительные детали (например, ограждения, ворота, поручни и т.д.).

1.4. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Трубчатые стальные конструкции обладают рядом преимуществ и недостатков по сравнению с аналогичными конструкциями из других горячекатаных профилей, которые в дальнейшем будут называться обычными конструкциями.

Трубы, используемые в стальных конструкциях, имеют следующие преимущества:

а) выгодная характеристика прочности труб, особенно при работе на сжатие и кручение, позволяет уменьшать вес как отдельных элементов, так и конструкции в целом. Из сравнения геометрических свойств труб с другими горячекатаными профилями (рис. 1.4) вытекает большая пригодность труб для использования их как стержней ферм. Несущую способность сжатой стальной трубы можно значительно увеличить, заполнив ее бетоном. Положительные для общей и местной устойчивости свойства сечения труб позволяют надлежащим образом использовать в трубчатых конструкциях сталь повышенной прочности;

б) осевое проникновение стержней в многостержневых конструкциях во многих случаях позволяет не применять узловые косынки, а также устраняет влияние эксцентриситетов;

в) выгодная аэродинамическая форма снижает ветровую нагрузку на конструкцию в целом. Это свойство имеет осо-

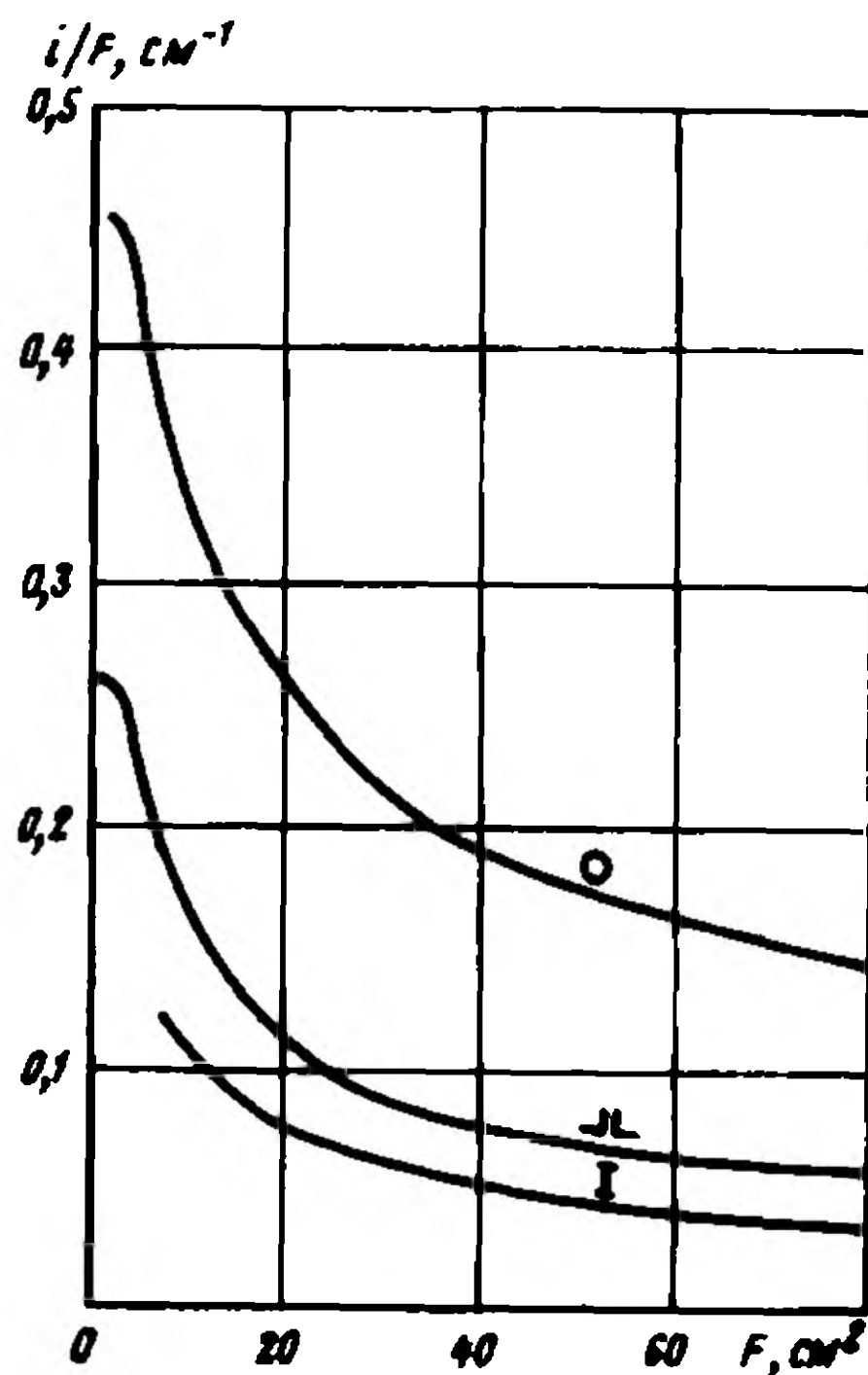


Рис. 1.4. Сравнение геометрических свойств труб, уголков и двутавров

бенное значение при строительстве вышек, радио- и телебашен, а также опор энергетических линий, для которых ветровая нагрузка является основной;

г) сравнительная простота транспортировки и монтажа трубчатых конструкций. Это преимущество особенно важно в случаях, когда место монтажа конструкции недоступно для тяжелого транспортного и монтажного оборудования;

д) упрощение технологии антикоррозионных покрытий внешней поверхности конструкций, которая на 30–50% меньше поверхности элементов, выполненных, например, из равносторонних уголков. Поэтому применение трубчатых конструкций сокращает площадь и снижает стоимость антикоррозионных покрытий. Если трубы заделаны тщательно, то в узлах создается устойчивость против внутренней коррозии. Гладкая внешняя поверхность труб, т.е. отсутствие углублений и щелей, создает условия для надежного естественного стока воды;

е) эстетичность внешнего вида позволяет принимать интересные архитектурные решения при проектировании от-

крытых конструкций, таких как выставочные павильоны, спортивные и вокзальные залы, мачты, помосты, осветительные фонари и т.п. Вследствие меньшего поперечного сечения по сравнению с другими профилями трубчатые конструкции меньше затемняют остекленные поверхности фонарей. Отсутствие острых ребер позволяет использовать трубы для строительства спортивных сооружений, таких, как трамплины, трибуны, помосты и т.п.;

ски оправданно как с точки зрения расхода стали, так и с точки зрения стоимости. Первым условием рентабельности трубчатых конструкций по сравнению с обычными конструкциями является экономия стали, которая зависит от следующих факторов:

а) типа конструкций (фермы покрытий, рамы, столбы, связи и т.п.);

б) цены используемых труб в зависимости от их вида (гладкие без шва, водогазопроводные без шва, водогазопроводные со сварным швом и т.п.);

в) объема серии выпускаемой конструкции; большая серия возможна только в специализированных сборочных цехах. Работа на предприятиях без специального оборудования повышает трудоемкость.

При конструировании решетчатых ферм покрытий и рам, для которых используются трубы с наружным диаметром 32-159 мм, обязательным условием является экономия стали по сравнению с аналогичными элементами из других горячекатаных профилей. Экономия стали должна приближаться к данным, приведенным в табл. 1.1. Таблица составлена с учетом предпосылки, что стоимость конструкции из труб не должна быть выше стоимости конструкции из равнобоких горячекатаных уголков без учета стоимости транспортировки.

При использовании труб для стоек, поддерживающих подкрановые балки, для решетчатых подкрановых балок и связей жесткости в промышленных зданиях экономия стали должна быть на 5% меньше, чем указано в табл. 1.1.

При конструировании таких сооружений, как телебашни и адьюшки, мостки, помосты и т.п., минимальный процент экономии стали для каждого типа конструкций устанавливается индивидуально в зависимости от технического проекта. В этих случаях стоимость производства, транспортировки и монтажа значительно отличается от стоимости таких же конструкций в промышленном и коммунальном строительстве. При выборе оптимального решения большую, чем обычно, роль играют соображения эстетики.

Таблица 1.
Минимальная экономия стали в % при конструировании
решетчатых ферм покрытий и рам

Вид трубы	Элементы, собранные только из труб		Элементы, собранные из труб и других профилей в весовом отношении 1:1	
	малая серия	крупная серия	малая серия	крупная серия
Гладкая без шва	42	37	27	22
Водогазопроводная без шва	37	31	23	18
То же, со швом	36	29	22	17

II ТРУБЫ

II.1. СТАЛЬ

Для изготовления труб используются марки стали, указанные в нормах PN-64/H-84024 (табл. II.1). Однако в строительных конструкциях применяют не все трубы, сделанные из этих сортов стали. В соответствии с PN-64/H-84024 и табл. II.2 даны механические свойства стали прокатных труб, а также предлагаемые автором допустимые и предельные напряжения на сжатие, растяжение и изгиб, которые следует применять при проектировании трубчатых строительных конструкций. Коэффициенты устойчивости и однородности принять аналогично соответствующим коэффициентам, указанным в нормах PN-62/B-03200. Для получения расчетных значений этих коэффициентов допускаемые напряжения округляют до 100 кгс/см², а предельные – до 50 кгс/см². Эти допускаемые и предельные напряжения являются ориентировочными, и для использования их в технической документации необходимо разрешение Комиссии стальных конструкций Польского комитета стандартизации.

Сталь марки *R* используется для труб общего назначения, например газовых, водопроводных и паровых. Давление в этих трубах может достигать 25 атм, а температура заполнителя – 120°С. Трубы из этой стали могут применяться для конструкций, которые не подвергаются большим нагрузкам. Свойства этой стали приблизительно такие же, как углеродистой обычного качества *st08*. Ее механические свойства не исследованы, и, как правило, она не должна использоваться в ответственных строительных конструкциях, а только в элементах второстепенных и вспомогательных. Ориентировочно предел пластичности этой стали $R_{тл} = 2000$ кгс/см², но не ниже $R_{тл\ min} = 1900$ кгс/см².

Стали *R35* и *R45* также используются для изготовления труб общего назначения. Применяют их прежде всего для трубопроводов с давлением 25–100 атм и температурой за-

Таблица П.1.
Химический состав стали, применяемой для производства труб (в соответствии с анализом плавки)

Марки стали	Химический состав, %						Технология производства труб
	C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	прочие	
R R35 R45 R55W R65W	0,25 _{max}	Не поддается проверке 0,35*-0,5 0,45*-0,7 0,6*-0,8 0,6*-0,85	0,15*-0,35** 0,15*-0,35 0,2*-0,35 0,2*-0,35	0,06	0,06	-	Трубы без шва горячекатаные без прокалки или холодно- отяннутые и про- каленные
	0,07*-0,13			0,05	0,05	-	
	0,14*-0,2			0,05	0,05	-	
	0,36*-0,44			0,045	0,045	-	
	0,45** -0,52			0,045	0,045	-	
K10 K18	0,13 _{max}	0,4** -0,65	0,15** -0,3	0,045	0,045	Cr _{max} =0,2 Ni _{max} =0,35 Cu _{max} =0,25	Трубы без шва
	0,14-0,2	0,6-1,05	0,17-0,37	0,045	0,045	Cr _{max} =0,2 Ni _{max} =0,35 Cu _{max} =0,25	
08ZX	0,1 _{max}	0,4-0,55	0,03 _{max}	0,04	0		

Марки стали	Химический состав, %						Технология производства труб
	C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	прочие	
10BX	0,13 _{max}	0,4-0,6	0,03 _{max}	0,04	0,04	-	Трубы со швом, сваренные под давлением или электросваркой

* Ориентировочное содержание.

** Допускается поставка труб из стали неуступкоенной или полууступкоенной.

*** Для труб, сваренных электрически под давлением, нижнее содержание марганца может быть снижено до 0,3%.

Таблица П.2.

Механические свойства, а также допускаемые и предельные напряжения сталей, применяемых для производства горячекатаных труб (состояние сырое, т.е. без тепловой обработки)¹

Марка стали	Механические свойства			Коэффициенты запаса прочности при нагрузке		Коэффициент однородности	Допускаемое напряжение, кгс/см ² , при нагрузке		Предельное напряжение, кгс/см ²
	R _{np} , 2 кгс/см ²	R _{нп} , 2 кгс/см ²	A _s , %	1			I		
				I	II				

полнителя до 350°C, а также в конструкциях, которые несут значительные нагрузки. Это низколегированная сталь с механическими свойствами, близкими к свойствам углеродистой стали обычного качества St35. Трубы из этой стали используются главным образом для ответственных строительных конструкций.

Стали R55W и R65W используются в производстве отборных (высококачественных) труб для бурения и реже для строительных конструкций. Это стали с высоким содержанием углерода, поэтому они обладают высокой прочностью. Но по той же причине ухудшается их свариваемость по сравнению с конструктивной сталью 18Г2. Так как эти стали считаются трудносвариваемыми, то не рекомендуется их широкое использование для сварных строительных конструкций. Однако они могут быть использованы для элементов, соединяемых болтами. Отбор буровых труб производится в соответствии с техническими условиями Американского института нефти (Американский институт нефти).

Стали K10 и K18 используются для изготовления котельных труб без шва. Это трубы высокого качества, отбираемые в соответствии с требованиями специальных инструкций, устанавливаемых заказчиком. Учитывая их свойства, диаметр и назначение, эти трубы не должны рассматриваться как материал для стальных строительных конструкций.

Сталь 10BX используется в качестве листов и лент для изготовления труб большого диаметра с помощью электросварки давлением. Это неустойчивая сталь с химическим составом и механическими свойствами, близкими к стали St35. Трубы из этой стали могут быть использованы для таких строительных конструкций, в которых неустойчивость стали не имеет значения.

Для холодногнутых сварных труб используются конструктивные стали St35 или 18Г2. Их механические свойства, а также допускаемые и предельные напряжения следует принимать в соответствии с $R_N = 62/B = 03200$.

За рубежом (например, в ФРГ и Бельгии) изготавливаются также конструктивные трубы из низколегированных сталей повышенной прочности. Использование таких сталей для трубчатых строительных конструкций является целесообразным и желательным.

П.2. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ

Трубы по технологии производства делятся на два вида: со швом и без шва. Трубы без шва изготавливаются из стальных слитков, слитков, гильз прокатыванием, вытягиванием, прессованием, ковкой или штампованием. Трубы со швом создаются способом горячей или холодной гибки листов, полос или лент стали с последующей сваркой.

Современная технология производства труб позволяет

Трубы со швом изготавливаются сначала с зазором, который заделывается с помощью сварки плавлением или давлением. Во время сварки давлением труба с зазором нагревается целиком или действие источника тепла ограничивается зоной вдоль зазора. Одновременно с разогревом трубы дается давление. При некоторых системах производства труб процесс нагревания под давлением повторяется дважды или трижды. В качестве источника тепла служат печи при кузнечной сварке, электроэнергия при сварке сопротивлением или индукционной сварке, а также технические газы (ацетилен, кислород, водород) при сварке остальными методами. Давление передается через валки или электроды. При сварке плавлением источником тепла служит электродуга, а металл предохраняется от нежелательных явлений шлаком, флюсом или нейтральным газом (водород, аргон, углекислый газ).

Трубы, изготовленные таким образом, имеют размеры, изменяющиеся в широких пределах. Наружные диаметры труб составляют 8-4000 мм, толщина стенок 0,4-19 мм. Длина труб технологически не ограничивается.

Трубы, соединенные кузнечным способом сварки (горно-вым) или специальными способами, как правило, не применяются в стальных строительных конструкциях.

Объем продукции труб со сварным швом может быть увеличен применением прессов для изгибания методом закручивания при производстве заготовок с зазором. Трубы очень больших диаметров могут быть изготовлены также на листопродольных вальцах. Однако этот метод менее продуктивен, чем профилирование на прессах.

В США и странах Западной Европы все большее распространение находит изготовление труб способом спиральной сварки. Такие трубы получают холодным профилированием лент из углеродистой стали в виде спиральных витков и последующей сваркой краев лент, которые образуют зазор или нахлест. Этот способ был известен давно, но только благодаря развитию сварки стало возможным его распространение. Толщина стенок труб от 1 мм.

В настоящее время еще нет норм, определяющих технические требования к изготовлению и отбору конструктивных труб. Некоторые технические условия для водогазопроводных труб приведены в нормах PN-64/H-74200. Ниже приводятся общие технические требования к конструктивным трубам:

а) внутренняя и наружная поверхности трубы должны быть гладкими. Допустимы незначительные выпуклости и углубле-

ния или мелкие продольные борозды с плавным переходом от мест с меньшей толщиной стенки к местам с нормальной

П.3. АССОРТИМЕНТ ТРУБ

Трубы классифицируются не только по способу производства, но также по их назначению. По назначению трубы делятся на пять групп, а именно: проводящие, теплообменные, буровые, конструктивные, а также трубы, используемые как сосуды и резервуары.

Ассортимент труб, выпускаемых в Польше, пригодных для стальных строительных конструкций, определен главным образом нормами PN-64/H-74200, PN-60/H-74207 и PN-60/H-74209. Кроме того, могут применяться электросварные (давлением) трубы, перечисленные в Программе продукции польской металлургии.

Требования, предъявляемые к этим трубам, приведены в нормах PN-61/H-74219 [22] и PN-61/H-74240.

П.4. АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА

Стальные строительные конструкции из труб следует защищать от коррозии нанесением защитных оболочек теми же способами, какие применяются для обычных конструкций. Такими покрытиями являются краски и металлы. Покрывая внешнюю поверхность труб защитными красками, следует руководствоваться "Инструкцией по предохранению от коррозии лакокрасочными покрытиями стальных конструкций в строительстве". До сих пор нет каких-либо руководств по видам и способам нанесения металлических защитных оболочек. Поэтому при использовании металлических покрытий следует принимать во внимание рекомендации, приведенные в работах, посвященных этой проблеме.

При конструировании элементов и их соединений следует обратить внимание на то, чтобы не создавались места, труднодоступные для очистки поверхности и нанесения защитных покрытий. Отвод воды с трубчатых конструкций, благодаря их округлости, значительно облегчен по сравнению с конструкциями из других горячекатаных профилей. По той же причине поверхность трубчатых конструкций менее запылена. Однако при проектировании элементов из труб необходимо следить за тем, чтобы соединения и сложные стержни не имели формы желобов или выемок. Если этого избежать не удастся, следует обеспечить отвод воды с помощью отверстий или специального наклона стержней. Торцовые отверстия труб и сварные соединения должны быть герметически заделаны.

При выполнении этих условий внутренние поверхности труб не требуют каких-либо специальных мер по защите от коррозии. Следует отметить, что даже незамкнутые трубы, находящиеся на открытом воздухе, ржавеют изнутри только на небольшом расстоянии от концов трубы, так как практически внутри трубы отсутствует воздушная конвекция. Коррозия внутренней поверхности стенок трубы может появиться только в том случае, если в трубе возникнет воздушный поток и начнут конденсироваться водные испарения.

Несмотря на приведенные выше соображения, в 50-х гг. снова возникли сомнения в том, что защита внутренней поверхности труб от коррозии излишня. Отмечены были отдельные случаи возникновения очагов внутреннего обледенения свинчиваемых труб, входящих в конструкцию мачт и других сооружений, находящихся на открытом воздухе. Вследствие обмерзания появились повреждения труб. Проведенные исследования показали, что при нормальной герметизации труб влага не имеет доступа к внутренним поверхностям и ржавчина на них не возникает. При неполной герметизации, например, когда труба имела просверленные отверстия, через которые внутрь проникала влага в незначительных количествах, обнаружено, что в целом корка прокатной окалины находится в хорошем состоянии, а также не нарушена поверхность трубы, удаленная от места проникания влаги. Только в местах непосредственной близости к месту проникания влаги обнаружен очень тонкий слой ржавчины.

Как показала практика, даже массовое применение сварки позволяет создать надежную герметизацию внутреннего пространства труб.

Для антикоррозионной защиты внутренних поверхностей труб следует принять во внимание, что:

а) выполнение абсолютно герметичной сварки не вызывает технических затруднений. Поэтому в трубы, заделанные сваркой, влага не может проникнуть и ржавчина не образуется;

б) даже в места не полностью герметизированные, такие, как отверстия для болтов, влага в больших количествах не проникнет, если, конечно, отверстия расположены таким образом, что не могут быть залиты падающей водой;

в) перед угрозой даже не самой коррозии, а скорее обледенения рекомендуется замыкать трубчатые стальные конструкции для предотвращения попадания влаги внутрь труб;

г) в некоторых случаях, например в конструкциях, находящихся на открытом воздухе, необходимо в наиболее низком

месте положения трубы предусмотреть отверстия для спуска водного конденсата, закрывая их болтами.

Во внутренних частях зданий, где отсутствует угроза обледенения, нет причин опасаться коррозии внутри труб. Несмотря на это все трубчатые строительные элементы должны быть герметизированы.

III. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

III.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Общие принципы расчета и проектирования стальных строительных конструкций из труб круглого сечения в основном такие же, как и для конструкций из других горячекатаных профилей, если не принимать во внимание такие специальные конструкции, как дымовые трубы, трубопроводы (подвесные или наземные), высокие мачты из одиночных труб и т.д.

Основная разница между элементами конструкций из труб и конструкций из других горячекатаных профилей заключена в первую очередь в образовании соединений, которые будут рассмотрены в разд. IV. Кольцевой профиль так же, как и другие профили, обладает специфическими особенностями. Они касаются вопросов, связанных с допустимыми нагрузками и напряжениями, расчетами на жесткость, статичностью и несущей способностью забетонированных труб, поведением конструкций под воздействием динамических нагрузок и т.д. Эти особенности обычно не могут быть выделены из всего объема статических расчетов и проектирования элементов стальных строительных конструкций. Однако наблюдается тенденция трактовать проектирование и выполнение трубчатых элементов как обособленный раздел стальных строительных конструкций. В связи с этим необходимо выделять и учитывать специфические особенности трубчатых конструкций для выполнения более точных статических расчетов и определения несущей способности элементов с большим соответствием с теорией конструкций и ее экспериментальным подтверждением. Это ни в коем случае не является поводом для увеличения затрат труда на выполнение статических расчетов, но зато позволяет получить дополнительную экономию стали.

Настоящий раздел посвящен рассмотрению специфических отличительных особенностей трубчатых конструкций.

Вопросы расчета и проектирования, которые являются общими для всех строительных стальных конструкций, здесь не

диаметром более 120 мм, устанавливаемых на больших высотах, аэродинамический коэффициент принимается равным 0,34.

Для труб малых диаметров аэродинамический коэффициент составляет 1,2. Для плоских поверхностей советскими нормами величина аэродинамического коэффициента устанавливается равной 1,4. Соотношение коэффициентов:

$$\frac{0,34}{1,4} = 0,25 \quad \text{или} \quad \frac{1,2}{1,4} = 0,86.$$

Из сравнения данных различных государств виден большой разброс значений аэродинамического коэффициента для плоской поверхности. Поделив трубы на две группы по величине их диаметра, можно утверждать, что во многих инструкциях аэродинамический коэффициент составляет 0,4–0,6 для труб большого диаметра ($D \geq 200$ м) и 1,2 для труб малого диаметра ($D < 100$ мм).

Другие нагрузки, например обледенение, силы, вызванные разницей температур, и т.п., следует принимать, руководствуясь соответствующими инструкциями или указаниями специальной литературы.

Ш.3. ДОПУСКАЕМЫЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Допускаемые и предельные напряжения для изделий из стали сорта St 3 и 18Г2 следует принимать по нормам PN-62/B-03200. Допускаемые и предельные напряжения для труб из стали R35 и R45 (прежние обозначения R010 и R020) приведены в проекте норм PN/B-03201. Автор предлагает принимать допускаемые и предельные напряжения для труб в соответствии с табл. II.2. В этой таблице допускаемые и предельные напряжения для труб из стали R35 и R45 имеют по сравнению с проектом норм PN/B-03201 несколько меньшие значения.

Допускаемые и предельные напряжения для сварных швов, соединяющих трубы с другими элементами конструкций, следует принимать по нормам PN-62/B-03200 и по проекту норм PN/B-03201.

Ш.4. СТАТИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Ш.4.1. Прочность и жесткость

Изгиб. Изгибаемые стержни, изготовленные только из труб, встречаются редко, так как круглый профиль не является оптимальным при изгибе. Круглые профили имеют ряд преи-

муществ перед двутаврами или швеллерами при нагрузках силами, действующими в двух плоскостях, которые можно для труб привести к изгибу в одном направлении.

Изгибаемые стержни из труб могут рассчитываться с учетом пластификации трубного сечения. Пластический момент сопротивления труб приблизительно на 27% больше их упругого момента. Однако для труб так же, как для горячекатаных двутавров, нельзя при расчетах считать изгиб целиком пластическим. Поэтому Дутель предлагает несущую способность изгибаемого стержня рассчитывать по формуле

$$M_g = 1,1 M_{gs} = 1,1 W_{xs} k, \tag{Ш.1}$$

где M_g – максимальный изгибающий момент, который может выдержать трубчатый стержень;

M_{gs} – изгибающий момент, под действием которого в крайнем волокне сечения возникнет допустимое упругое напряжение;

W_{xs} – момент сопротивления сечения трубы;

k – допустимое или предельное напряжение, приведенное с помощью коэффициента нагрузки к формуле (III.1).

Допускаемый прогиб при изгибе трубчатых стержней следует принимать в соответствии с PN-62/B-03200.

В Великобритании чрезвычайно часто применяются прогоны из труб, поэтому в английских инструкциях приводятся значения минимальных коэффициентов сопротивления для однопролетных и неразрезных балок с учетом пластификации сечений. Так как в Англии применяются другие сорта сталей, эти показатели для нас непригодны. Однако стоит ознакомиться с английскими требованиями, касающимися допустимых прогибов (табл. Ш.1). Прогибы рассчитаны для однопролетных свободно опертых балок.

Таблица Ш.1

Допустимые прогибы балок по английским инструкциям

Способ опирания балок	Сталь 13 (2047)*	Сталь 15 (2362)
Однопролетная свободно опертая	$\frac{l}{175}$	$\frac{l}{160}$

Срез. Поп

$\sigma_n = \frac{$

β''

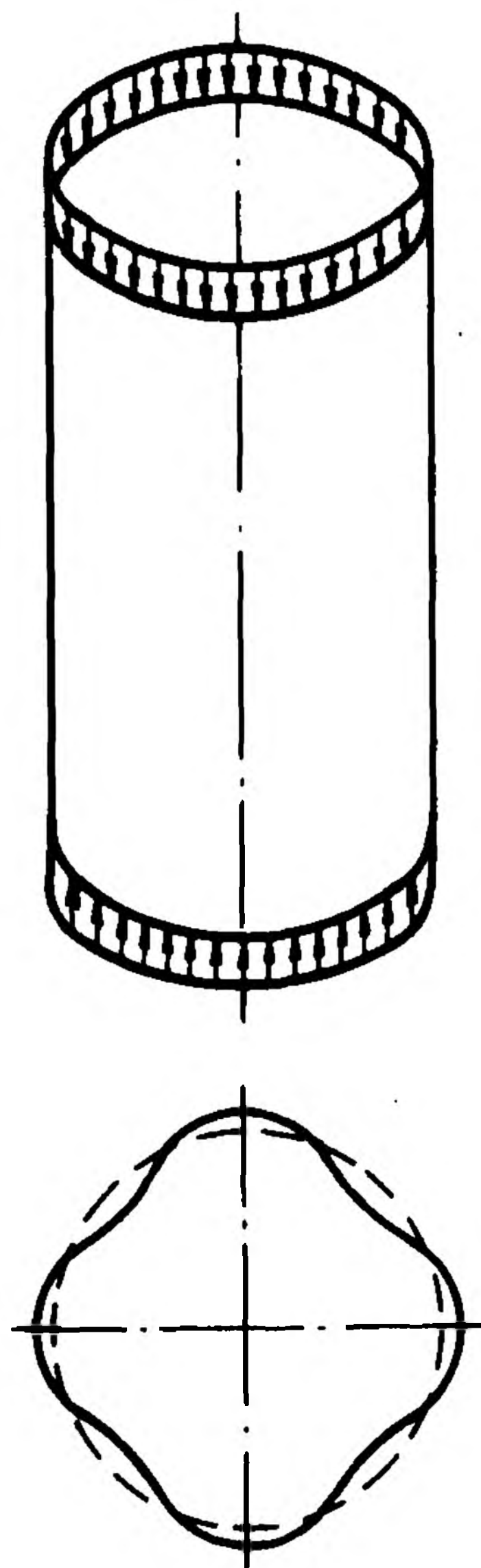


Рис.Ш.4. Пример потери местной устойчивости

Остальные условные обозначения такие же, как в формуле (Ш.4).

Повсеместно применяется полуэмпирическая формула, близкая к формуле, выведенной в процессе теоретических выкладок :

$$\sigma_{кр} = c E \frac{g}{r_c} , \quad (Ш.14)$$

в которой многие авторы рекомендуют принимать $c = 0,18 - 0,3$. Учитывая, что обычно условия работы труб в конструкциях хуже, чем во время лабораторных экспериментов, следует в формуле (Ш.14) принимать $c = 0,18$.

Поэтому же рекомендуется при пользовании формулой (Ш.13) принимать коэффициент запаса прочности более высокий, чем в норме при проверке местной устойчивости.

Сравнение результатов, полученных из формул (Ш.13) и (Ш.14), показывает, что во многих случаях для тонкостенных труб получаются критические напряжения, отличающиеся вдвое и втрое.

Для

причем

Предел прочности определен при $N = 2 \cdot 10^6$ перемен нагрузок.

Измерения подтвердили, что напряжения в узлах и в стержнях распределяются неравномерно. Большая концентрация напряжений появляется в местах смены профиля стержней, в узловых косынках, а также в местах соединения раскосов с нижним поясом.

Опыты проводились на элементах сравнительно малых размеров, вследствие чего жесткость узлов была значительной. Полученные результаты позволили проверить пригодность решений, применяемых до сего времени.

В 1962–1964 гг. Центральный институт сварки ГДР в Галле проводил дальнейшие исследования с целью установить влияние дополнительных напряжений от моментов заделки на выносливость в жестких узлах малых ферм. Опыты проводились в лабораторных условиях, что позволило испытать узлы разных форм и размеров.

Характеризуя современный уровень знаний о трубчатых конструкциях, нагруженных динамически, Бадер подчеркивает, что в решетчатых конструкциях действие шарниров проявляется в минимальной степени (за исключением обратнсплющенных раскосов), т.е. такие конструкции обладают высокой жесткостью. Для получения высоких значений выносливости относительно жесткости выгодно, если весь узел может "поддаться". При этом не могут "отдыхать" индивидуально соединенные части. Если узел жестко заделан, то это должно быть принято во внимание в его форме, выполнении и размерах.

