



Н.С. Москалев  
Я.А. Пронозин  
Н.Д. Корсун  
В.С. Парлашкевич

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

включая сварку



**Н.С. Москалев**, Я.А. Пронозин,  
В.С. Парлашкевич, Н.Д. Корсун

# **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ СВАРКУ**

*Под редакцией проф., к.т.н. В.С. Парлашкевич*

*Рекомендовано Федеральным государственным образовательным  
учреждением высшего профессионального образования  
«Московский государственный строительный университет»  
в качестве учебника для студентов ВПО, обучающихся  
по программе бакалавриата по направлению 270800  
«Строительство»*



Издательство АСВ  
Москва  
2014

УДК 624.01  
ББК 38.54  
П 18

*Рецензенты:*

заведующий кафедрой «Металлические конструкции» МГСУ, д.т.н.,  
проф. *Тусин А.Р.*;

заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ТюмГАСУ,  
к.т.н., доцент *Бай В.Ф.*

**Москалев Н.С.**, Пронозин Я.А., Парлашкевич В.С., Корсун Н.Д.

**Металлические конструкции, включая сварку:** Учебник / под редакцией проф., к.т.н. В.С. Парлашкевич. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 352с.

ISBN 978-5-4323-0031-7

Учебник отвечает классическим представлениям отечественной инженерной школы о стальных строительных конструкциях.

В учебнике рассмотрены вопросы и производства сталей и проката, их основные свойства. Рассмотрены работа и расчет элементов конструкций при различных видах нагрузок. Изложены основы проектирования и расчета строительных металлических конструкций, таких как балки, колонны и фермы, а также конструирование и расчет их соединений на болтах и на сварке. Представлен краткий исторический обзор развития металлостроительства.

Учебник предназначен для студентов-бакалавров, изучающих дисциплину «Металлические конструкции, включая сварку».

УДК 624.01  
ББК 38.54

© **Москалев Н.С.**, Пронозин Я.А.,  
Парлашкевич В.С., Корсун Н.Д.,  
© Издательский дом АСВ, 2014

ISBN 978-5-4323-0031-7

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Огромный разносторонний опыт научных исследований и проектирования позволил создать замечательный учебник под руководством выдающегося ученого, профессора Н.С. Стрелецкого [1], на основе которого было воспитано не одно поколение инженеров-строителей. Являясь основой, данный учебник в соответствии с требованиями времени был переработан и дополнен коллективом под редакцией проф. Е.И. Белени, а позже проф. Ю.И. Кудишина [4].

Кроме того, были изданы замечательные учебники и учебные пособия под редакциями К.К. Муханова, А.А. Васильева, В.В. Бирюлева, В.В. Горева и др., имеющие особенности в изложении материала и наличии специальных разделов. Авторы выражают глубокое уважение вышеприведенным авторам и авторским коллективам, материалы которых были использованы при написании настоящего учебника.

Современная номенклатура строительной отрасли диктует инженеру жесткие условия конкурентной профессиональной борьбы, необходимость в скорости принятия решений, квалифицированной защите своих проектов и разработок. Данный учебник отражает достижения отечественной научной инженерной школы, представляя материал в классической постановке. Все указания выполнены в соответствии с действующей в РФ нормативной базой.

При этом учебник обладает следующими особенностями:

- соответствие излагаемого материала ФГОС направления «Строительство» 270800.62, бакалавр.
- простота и доступность изложения материала, не перегруженного сложным математическим аппаратом;
- учебник содержит много иллюстраций, которые помогут студентам легче усвоить излагаемый материал.

Данный учебник является первой частью намеченных к изданию учебников и учебных пособий по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку» для студентов направления подготовки «Строительство» 270800.62, бакалавр, профиль подготовки – «Промышленное и гражданское строительство».

Учебник может быть использован студентами бакалаврами и специалистами других вузов, изучающих дисциплину «Металлические конструкции, включая сварку», а также студентами вечернего, заочного отделений.

# Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Сталь – идеальный материал для строительных конструкций. Она отличается однородностью механических свойств, обладает высокой прочностью и пластичностью, хорошо сваривается всеми известными способами сварки и обрабатывается на механическом оборудовании.

## 1.1. Достоинства металлических конструкций

**Сравнительная легкость при высокой несущей способности.** Металлические конструкции имеют высокую несущую способность при различных видах нагружений, хорошо работают как на растяжение, так и на сжатие. Несущая способность материала характеризуется величиной коэффициента конструктивного качества (табл. 1.1), равного отношению

$$c = \gamma / R,$$

где  $\gamma$  – объемная масса материала конструкции в  $\text{т/м}^3$ ;

$R$  – расчетное сопротивление материала конструкции в  $\text{кН/см}^2$ .

Таблица 1.1

### Коэффициент конструктивного качества материалов для строительных конструкций

Материал конструкций	Объемная масса $\gamma$ , $\text{т/м}^3$	Расчетные сопротивления $R$ , $\text{кН/см}^2$	Отношение $c = \gamma / R$ , $1/\text{м}$ .
Железобетон	2,5	1,00–4,00	$18\text{--}24 \cdot 10^{-4}$
Древесина	0,8	0,50–1,00	$5,4 \cdot 10^{-4}$
Малоуглеродистая сталь	7,85	20,00–28,00	$3,2 \cdot 10^{-4}$
Низколегированная сталь	7,85	30,00–50,00	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Алюминиевые сплавы	2,7	16,00–30,00	$1,1 \cdot 10^{-4}$

Из табл. 1.1 видно, что стали имеют лучший показатель, чем железобетон и древесина (табл. 1.1). Однако наилучший показатель у

алюминиевых сплавов, но в силу высокой цены на алюминий в строительных конструкциях они применяются редко.

**Надежность.** Надежность – это свойство конструкций сохранять заданные эксплуатационные показатели в течение заданного промежутка времени.

Надежность стальных конструкций обеспечивается близким соответствием характеристик стали нашим представлениям об идеальном упругом или упругопластическом изотропном материале, для которого строго сформулированы и обоснованы положения сопротивления материалов, теории упругости и строительной механики. Все это соответствует гипотезам и допущениям, взятым за основу при разработке теоретических предпосылок расчета стальных конструкций, поэтому расчет, построенный на таких предпосылках, близко отражает действительную работу стальных конструкций.

Аналогичными свойствами обладают алюминиевые сплавы.

**Индустриальность.** Главным критерием индустриальности является сокращение сроков изготовления и монтажа конструкций при обеспечении необходимого качества. Это достигается приближением формы конструкции к условиям заводского изготовления и качественного монтажа.

Металлические конструкции в основном изготавливают на специализированных заводах, оснащенных новейшим оборудованием. Внедрение новых технологических линий по резке, гибке, обработке и сварке деталей, в том числе высоко компьютеризированных, позволяет ощутимо увеличить качество и объемы производства металлопродукции.

Условия индустриального монтажа металлических конструкций, особенно с использованием высокопроизводительной техники, требуют проектирования технологичных узлов и сопряжений элементов конструкций.

**Непроницаемость.** Металлы обладают непроницаемостью – способностью сопротивляться проникновению жидкостей и газов. Плотность и непроницаемость стали и сварных соединений является необходимым условием для изготовления резервуаров, газгольдеров, трубопроводов и различных сосудов и аппаратов.

**Ремонтопригодность.** Понятие ремонтпригодности подразумевает техническую возможность и экономическую целесообразность ремонтных работ. Металлические конструкции обладают хорошими показателями ремонтпригодности, так как легко поддаются усилению и реконструкции, даже без прекращения эксплуатации здания. В процессе службы элементы металлических

конструкций легко могут быть усилены или заменены другими при помощи сварки и болтов.

**Демонтируемость и легкая заменяемость.** Возможен демонтаж зданий из металлических конструкций и их вторичное возведение в другом месте. Например, павильон Советского Союза на Международной выставке в 1967 г. в Монреале (рис. 1.1) был разобран, перевезен в Москву и установлен на ВВЦ (павильон «Москва»).



*Рис. 1.1. Выставочный павильон: а – павильон СССР на Международной выставке в 1967 г. в Монреале; б – павильон «Москва» на ВВЦ*

**Возможность использования металла, отслужившего свой срок.** Металлические конструкции зданий и сооружений в результате физического и морального износа изымаются из эксплуатации и в виде металлического лома поступают на металлургические заводы на переплавку.

Необходимо учитывать, что 50 % сырья для сталей в мире выплавляется из металлолома, это позволяет уменьшить объем горных выработок, экономить энергию и снижает негативное влияние производств по изготовлению стали на окружающую среду.

## **1.2. Недостатки металлических конструкций**

**Малая огнестойкость.** При температуре более 500 °С все механические характеристики стали (модуль упругости, предел текучести и временное сопротивление) начинают уменьшаться, а при температуре 600 °С и более сталь не может нести нагрузку. Для повышения огнестойкости металлических конструкций их поверхность покрывают защитными эмалями или создают специальные оболочки из бетона или керамики. Имеются жаростойкие стали, но они очень дороги.

**Низкая коррозионная стойкость.** Коррозия – это окисление металла под воздействием атмосферной влаги или под действием

агрессивных сред. Сталь не является коррозионно-стойким материалом, т.е. под воздействием окружающей среды поверхность стали разрушается, снижаются эксплуатационные качества конструкции вплоть до отказа. Для защиты от коррозии или ее предотвращения необходимы специальные мероприятия:

- при выплавке стали – добавка специальных легирующих элементов;
- при проектировании конструкций необходимо обеспечение определенных конструктивных требований;
- при изготовлении покраска специальными лаками, красками эмальями или цинкование.

**Высокая стоимость.** Стоимость стали складывается из стоимости добычи и обогащения руды и стоимости производства стали и проката. Добыча и обогащение руды, выплавка чугуна и стали, изготовление металлических конструкций – все это трудоемкие и дорогостоящие процессы.

Однако применение металлических конструкций в строительстве часто оказывается экономически выгодней применения других более дешевых материалов (например, железобетона).

**Возможность хрупкого разрушения.** В некоторых случаях при неблагоприятных условиях эксплуатации (пониженные температуры, объемное напряженное состояние, концентрация напряжений и т.д.) возможно хрупкое разрушение стали. Хрупкое разрушение стали весьма опасно, так как происходит внезапно при малых деформациях, в пределах упругой работы материала. Высокопрочные стали более склонны к хрупкому разрушению, однако применение их в строительстве ограничено.

### 1.3. Требования к металлическим конструкциям

Конкретные требования к металлическим строительным конструкциям приведены в национальных стандартах, технических регламентах и сводах правил.

**Пригодность к эксплуатации.** Пригодность к эксплуатации – основное требование, безусловному выполнению которого подчинены все задачи проектирования.

Пригодность к эксплуатации характеризуется возможностью использования конструкций с возложенными на них функциями:

- восприятие приложенных к ним нагрузок и воздействий и передача силовых потоков на нижерасположенные конструкции без критических деформаций и с сохранением устойчивого положения;

– конструктивная схема, конструктивная форма; выбор материала и т.д. должны удовлетворять условиям эксплуатации.

**Надежность и долговечность.** Надежность и долговечность конструкций оцениваются вероятностью их безотказной работы в течение всего запланированного срока эксплуатации конструкции с учетом технического обслуживания и ремонта.

Надежность и долговечность металлических конструкций обеспечивается качеством металла, совершенствованием норм проектирования, качеством изготовления, транспортировки и монтажа.

**Экономичность.** Экономичность конструкций характеризуется уровнем затрат на их строительство и дальнейшую эксплуатацию. Уровень затрат прежде всего зависит от стоимости металла.

Потребность в металле велика, так как его широко применяют во многих отраслях промышленности. Однако металл имеет высокую стоимость. Экономия металла в строительных конструкциях достигается внедрением эффективных конструктивных форм, совершенствованием методов расчета, применением экономичных профилей и использованием сталей повышенной и высокой прочности.

В строительстве металл целесообразно применять тогда, когда замена его другими материалами нерациональна.

**Технологичность.** Технологичность металлических конструкций определяется степенью подготовленности конструкций для их скоростного изготовления, транспортировки и монтажа современными прогрессивными методами при оптимальных затратах материальных, трудовых и энергетических ресурсов.

*Технологичность изготовления.* Конструкции и их элементы должны проектироваться с учетом технологии их изготовления. В конструкциях должна быть предусмотрена возможность применения сварочной техники и размещения гайковертов.

*Технологичность монтажа.* Конструкции должны проектироваться с учетом технологии их монтажа. Они должны соответствовать возможности сборки в кратчайшие сроки, иметь технологичные монтажные узлы.

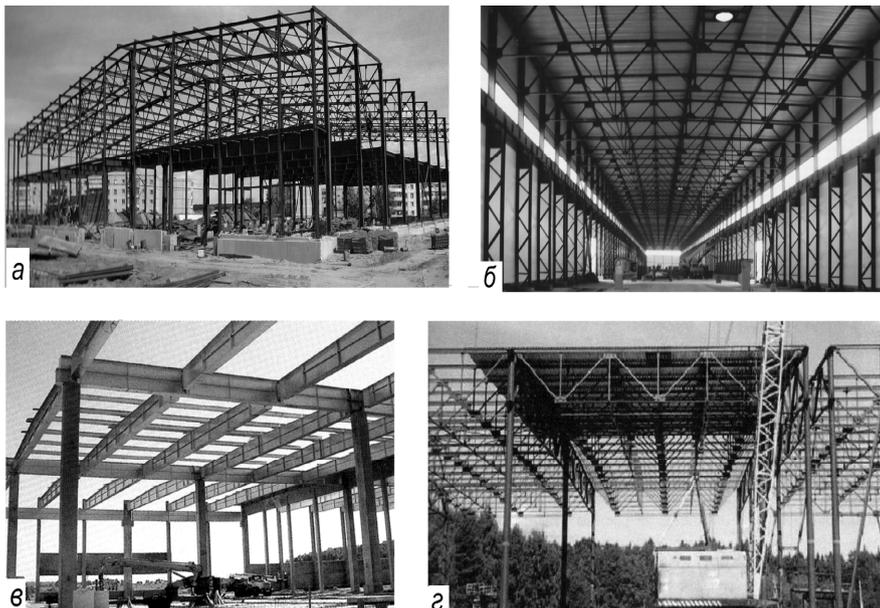
**Транспортабельность.** Транспортабельность – это возможность перевозки конструкций или их элементов с применением существующих транспортных средств и без ущерба для окружающей среды. При проектировании металлических конструкций их разделяют на транспортабельные отправочные марки.

**Эстетичность.** Конструкции должны обладать гармоничными и эстетичными формами. Особенно это требование предъявляется к общественным зданиям и сооружениям.

## 1.4. Области применения металлических конструкций

Из-за исключительной прочности и относительной легкости, упругой податливости, устойчивости к сейсмическим воздействиям металлические конструкции находят широкое применение в строительстве. Конструктивная форма проектируемых зданий и сооружений всегда соответствует функциональным, эстетическим, технологическим требованиям.

**Производственные здания.** Производственные здания могут быть однопролетными и многопролетными, в том числе с пролетами разной высоты и ширины, со встроенными рабочими площадками и многоэтажными вставками (рис. 1.2). Размеры каркасных зданий в плане могут сильно отличаться – от нескольких десятков метров до километра и более. Металлические каркасные здания находят применение в зданиях мастерских, складов, технических центров, выставочных павильонов, торговых центров и т.п.



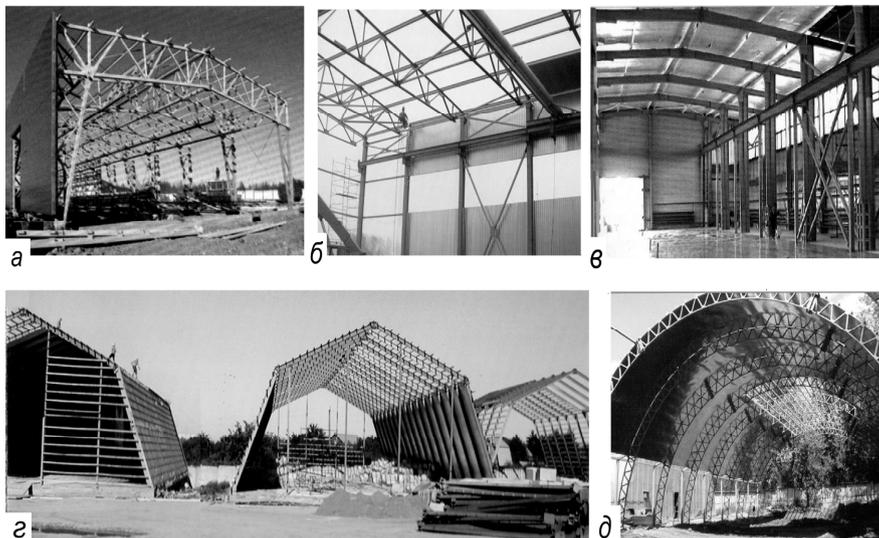
*Рис. 1.2. Каркасы производственных зданий*

Промышленные здания часто оборудуют грузоподъемными средствами – мостовыми и подвесными кранами, кран-балками, конвейерными линиями.

Конструкции производственных зданий выполняют либо в виде цельнометаллических каркасов (рис. 1.2, а, б, з), либо смешанных конструкций. На рис. 1.2, в изображен монтаж производственного здания с каркасом из смешанных конструкций. Колонны и фундаменты выполнены из железобетона, а балки – металлические. Такое решение каркаса наиболее актуально для зданий с высоким уровнем требований пожарной безопасности.

**Легкие быстровозводимые здания.** В последнее время широкое распространение получили легкие быстровозводимые здания – модули (рис. 1.3) полной заводской готовности с несущими элементами в виде рам или арок, транспортабельные и быстро монтируемые. В комплекте с несущими элементами (каркасом) поставляются ограждающие и прочие конструкции.

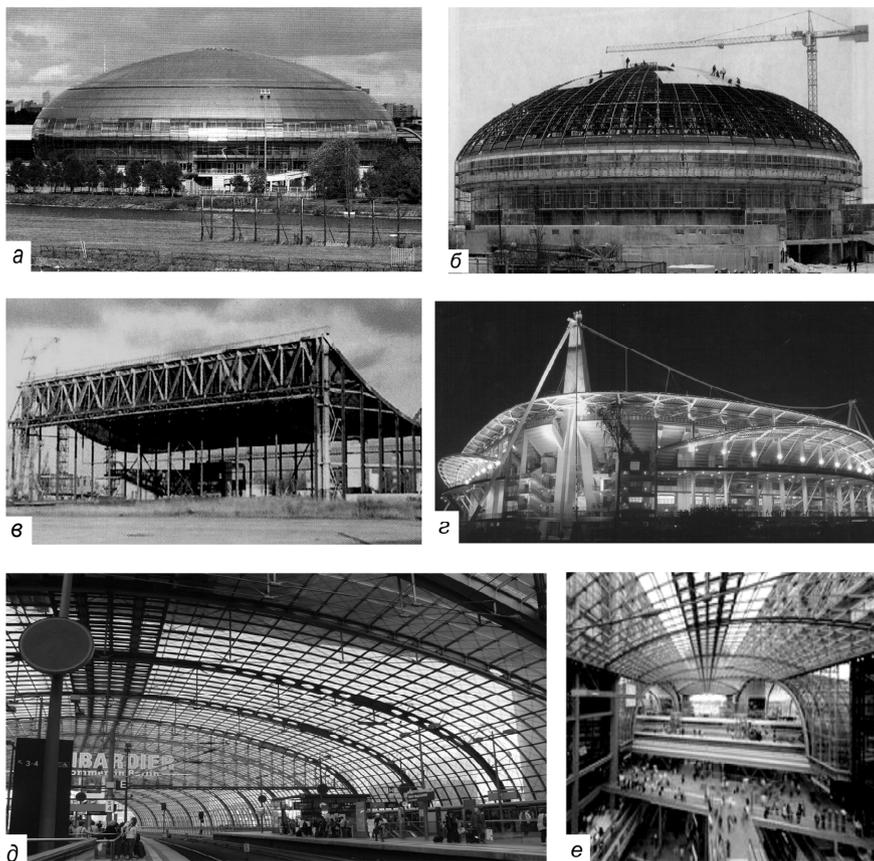
Металлические конструкции таких зданий полностью изготавливают на заводе и в виде транспортабельных отправочных элементов, доставляют к месту монтажа. На месте возведения такие здания собирают из готовых несущих рам, ограждающих панелей из профилированного настила с легким утеплителем для покрытий и стен, окон, дверей и ворот, вплоть до пожарных лестниц.



*Рис. 1.3. Легкие здания – модули полной заводской готовности*

**Большепролетные здания.** Как правило, здания общественного назначения, такие как спортивные сооружения, торговые центры, крытые рынки, выставочные павильоны, дебаркадеры вокзалов и

т.д., имеют большие пролеты (50 м и более) (рис. 1.4–1.5). Большие пролеты имеют и некоторые производственные здания (ангары, эллинги, цеха для сборки самолетов, кораблей и др.).



*Рис. 1.4 Большепролетные здания:*

*а, б – здание спортивно-оздоровительного центра «Динамо» в Москве;  
в – строительство ангара в Риге; г – стадион «Локомотив» в Москве;  
д, е – дебаркадер железнодорожного вокзала в Берлине*

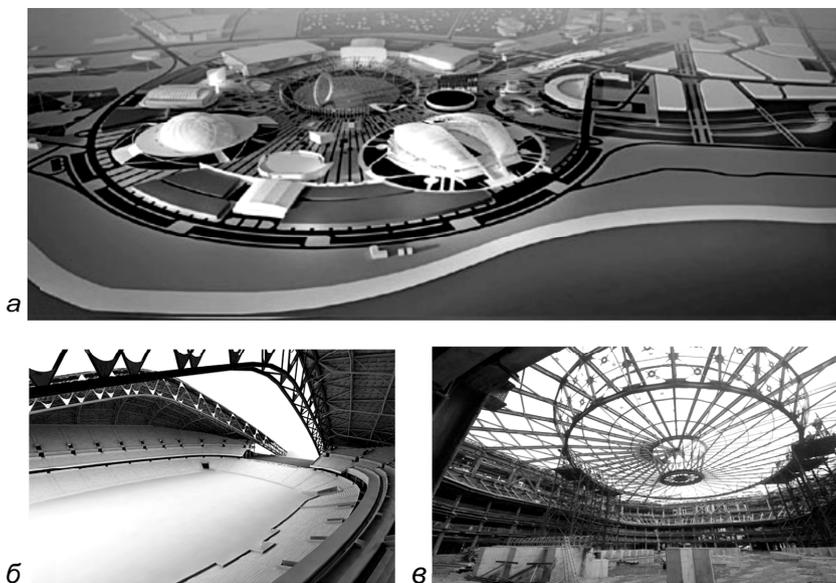
Конструктивные формы большепролетных покрытий из металла очень разнообразны. Они могут быть: плоскими – балочными, рамными, арочными; пространственными – купольными, висячими или комбинированными. Основной нагрузкой для большепролетных конструкций является собственный вес, поэтому важны оптимизация формы покрытия и различные способы регулирования внутрен-

них усилий в элементах конструкций, применение облегченных материалов для ограждающих конструкций.

Примером применения металлических конструкций в большепролетных зданиях могут служить: здание спортивно-оздоровительного центра «Динамо» в Москве (рис. 1.4, *a*), оно же в процессе монтажа (рис. 1.4, *б*), ангар для самолетов в Риге (рис. 1.4, *в*), стадион «Локомотив» в Москве (рис. 1.4, *г*) и т.д.

Уникальным является дебаркадер самого большого в Европе железнодорожного вокзала в Берлине (рис. 1.4, *д*, *e*). Перронный зал вокзала имеет пролет 160 м (рис. 1.4, *д*). Помещения вокзала размещены в пяти уровнях (рис. 1.4, *e*).

Примером применения металлических конструкций при строительстве большепролетных конструкций являются спортивные олимпийские объекты в г. Сочи (рис. 1.5).



*Рис. 1.5. Олимпийский парк Сочи-2014:*

*а – проект олимпийского парка; б – Центральный стадион Сочи;  
в – монтаж конструкции покрытия Ледового дворца спорта*

Доминирующая роль по проведению церемоний открытия и закрытия Олимпиады отводится Центральному стадиону Сочи-2014 на 40 тыс. зрителей (рис. 1.5, *б*). Стадион спроектирован в виде овально-го в плане сооружения. Конструкции покрытия разработаны в виде двух светопрозрачных оболочек над восточными и западными трибу-

нами. Основными несущими элементами покрытия являются стальные решетчатые арки в форме бумеранга с длиной дуги около 280 м.

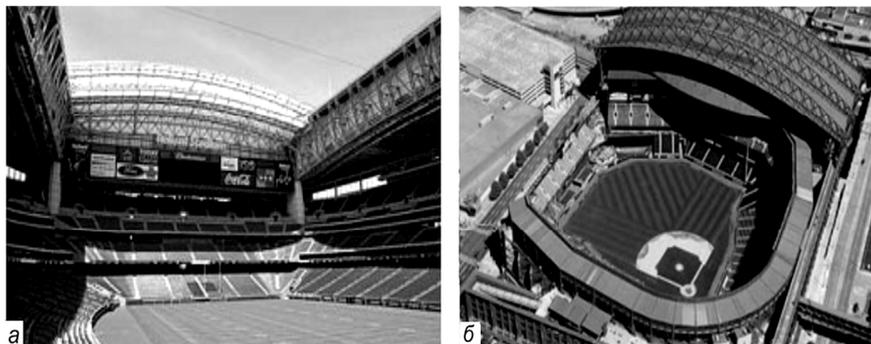
После проведения Олимпиады-2014 стадион станет многофункциональным сооружением для проведения выставок, массовых культурно-зрелищных и спортивных мероприятий, в том числе по проведению футбольных матчей под эгидой ФИФА и УЕФА.

**Большепролетные трансформируемые конструкции.** Трансформируемые конструкции применяются в объектах большой вместимости (стадионы, выставочные залы и др.), в конструкциях мобильных зданий и сооружений, а также в мостах.

Примером применения трансформируемых конструкций могут служить футбольный стадион в г. Хьюстоне (США) имеющий размеры в плане  $287 \times 116$  м (рис. 1.6, а). Поперечные передвигаемые фермы которого пролетом 116 м, несущие светопрозрачную оболочку, опираются на главные продольные фермы пролетом 205 м.

Бейсбольный стадион в г. Сиэтле (США) (рис. 1.6, б) имеет прямоугольное в плане раздвижное покрытие размерами  $200 \times 185$  м. Трибуны стадиона вмещают 47 тыс. человек.

В России проекты трансформируемого покрытия разработаны для Большой спортивной арены «Лужники».



*Рис. 1.6. Большепролетные трансформируемые конструкции:  
а – футбольный стадион в Хьюстоне; б – бейсбольный стадион в Сиэтле*

**Каркасы многоэтажных и высотных зданий.** В многоэтажных и высотных зданиях характерно разделение функций между несущими и ограждающими конструкциями. Применение металлических каркасов обусловлено высокими прочностными характеристиками стали, позволяющими не развивать сечение колонн на нижних этажах. Основным преимуществом металлических каркасов по сравнению с железобетонными является сокращение сроков строительства

благодаря отсутствию на площадке «мокрых» процессов и связанных с ними технологических перерывов.

Старейший в мире небоскреб *Empire State Building* высотой со шпилем 443 м, возведенный в 1931 г., имеет каркас из стали (рис. 1.7, а).



Рис. 1.7. Высочайшие небоскребы мира с металлическим каркасом

Большинство самых высоких зданий мира, например *Stars Tower* в Чикаго высотой со шпилем 527 м (США) (рис. 1.7, б), башни близнецы *Petronas Tower* в Куала-Лумпуре высотой 452 м (Малайзия) (рис. 1.7, в) и др., имеют металлический каркас, так же как и высотные здания сталинского периода в Москве (рис. 1.8).

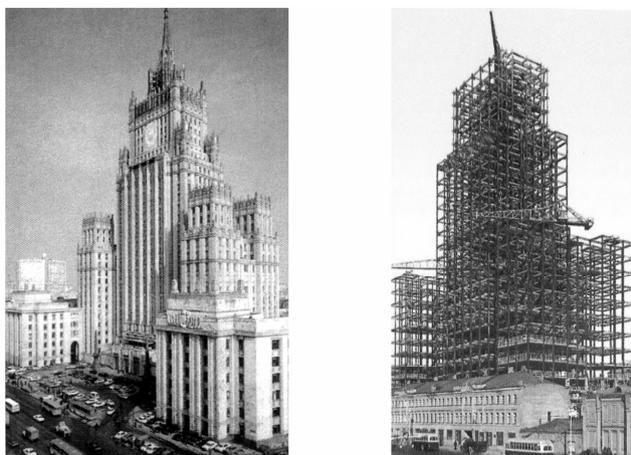


Рис. 1.8. Высотное здание на Смоленской площади в Москве

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Введение</b> .....	4
<b>Глава 1. Общие сведения о металлических конструкциях</b> .....	12
1.1. Достоинства металлических конструкций .....	12
1.2. Недостатки металлических конструкций .....	14
1.3. Требования к металлическим конструкциям .....	15
1.4. Области применения металлических конструкций .....	17
<b>Глава 2. Производство стали и проката</b> .....	32
2.1. Производство чугуна .....	32
2.2. Производство стали .....	33
2.2.1. Кислородно-конвертерный способ .....	33
2.2.2. Электродуговой способ .....	34
2.2.3. Внепечная обработка стали .....	36
2.2.4. Непрерывная разливка стали .....	36
2.3. Сортамент прокатной стали .....	37
2.4. Основные профили сортамента .....	38
2.4.1. Листовой прокат .....	38
2.4.2. Профильный прокат .....	40
2.4.3. Трубный прокат .....	43
2.4.4. Электросварные трубы .....	44
2.5. Холодногнутые профили .....	45
2.6. Профили из алюминиевых сплавов .....	48
<b>Глава 3. Свойства строительных сталей</b> .....	50
3.1. Основные свойства строительных сталей .....	50
3.1.1. Механические свойства стали .....	50
3.1.2. Физические свойства стали .....	50
3.1.3. Технологические свойства стали .....	51
3.1.4. Эксплуатационные свойства стали .....	52
3.2. Структура стали .....	52
3.2.1. Структура малоуглеродистой стали .....	53
3.3. Способы упрочнения строительных сталей .....	55
3.3.1. Термическая обработка сталей .....	55
3.3.2. Легирование сталей .....	56
3.4. Старение стали .....	58
3.5. Зависимость механических свойств стали от температуры .....	59
3.6. Коррозия стали и методы ее предотвращения .....	61

3.6.1. Виды и скорость коррозии .....	62
3.6.2. Способы защиты от коррозии .....	63
3.7. Свариваемость сталей .....	65
3.8. Виды напряжений в элементах конструкций.....	67
3.9. Концентрация напряжений .....	69
3.10. Ударная вязкость .....	71
3.11. Хрупкое разрушение стали.....	74
3.11.1. Факторы, влияющие на хрупкое разрушение.....	75
3.11.2. Меры предотвращения хрупкого разрушения .....	79
<b>Глава 4. Классификация сталей.....</b>	<b>80</b>
4.1. Классификация строительных сталей.....	81
4.1.1. Малоуглеродистые стали обычной прочности.....	81
4.1.2. Стали повышенной и высокой прочности .....	85
4.1.3. Классификация сталей по группам прочности.....	86
4.1.4. Обозначение марок стали по действующей нормативно-технической документации .....	87
4.2. Выбор марок сталей для строительных металлических конструкций .....	89
<b>Глава 5. Работа стали при различных видах нагружений .....</b>	<b>91</b>
5.1. Работа стали при одноосном растяжении .....	91
5.2. Работа стали при одноосном сжатии .....	95
5.3. Работа стали при повторных нагрузках.....	96
5.4. Работа стали при непрерывной повторной нагрузке.....	98
<b>Глава 6. Основы расчета металлических конструкций .....</b>	<b>101</b>
6.1. Нагрузки, действующие на конструкции зданий и сооружений.....	101
6.1.1. Классификация нагрузок .....	101
6.1.2. Снеговые нагрузки .....	103
6.1.3. Ветровые нагрузки .....	105
6.1.4. Гололедные нагрузки .....	108
6.2. Метод расчета по предельным состояниям.....	108
6.2.1. Общие положения расчета .....	108
6.2.2. Определение коэффициентов надежности .....	111
6.2.3. Предельное сопротивление стали. Нормативные и расчетные сопротивления стали .....	117
6.2.4. Основное неравенство расчета по предельным состояниям .....	119
6.3. Работа под нагрузкой и расчет элементов конструкций по предельным состояниям .....	122
6.3.1. Предельные состояния и расчет центрально растянутых элементов .....	122

6.3.2. Предельные состояния и расчет центрально сжатого короткого элемента.....	124
6.3.3. Предельные состояния и расчет изгибаемых элементов.....	126
6.3.4. Проверка изгибаемых элементов по второму предельному состоянию.....	133
6.3.5. Некоторые понятия о явлении потери устойчивости.....	134
6.3.6. Проверка общей устойчивости изгибаемых элементов.....	136
6.3.7. Предельные состояния и расчет центрально сжатых элементов.....	139
6.3.8. Местная устойчивость элементов балок и колонн.....	142
<b>Глава 7. Сварные соединения.....</b>	<b>148</b>
7.1. Краткий исторический обзор.....	148
7.2. Виды сварки, применяемые в строительстве.....	149
7.2.1. Ручная дуговая электросварка.....	150
7.2.2. Механизованная (полуавтоматическая) электросварка.....	151
7.2.3. Автоматическая электросварка под флюсом.....	152
7.3. Виды сварных швов и сварных соединений.....	155
7.3.1. Виды сварных соединений.....	155
7.3.2. Виды сварных швов.....	156
7.4. Термическое влияние сварки.....	159
7.5. Прочность и качество сварных соединений.....	162
7.5.1. Факторы, влияющие на прочность и качество сварных соединений.....	162
7.5.2. Основные дефекты при сварке.....	163
7.5.3. Способы контроля качества сварных соединений.....	163
7.6. Расчет сварных соединений.....	165
7.6.1. Расчет стыковых соединений.....	165
7.6.2. Расчет соединений с угловыми швами.....	169
7.7. Конструирование сварных соединений.....	175
<b>Глава 8. Болтовые соединения стальных конструкций.....</b>	<b>178</b>
8.1. Виды болтов и болтовых соединений.....	179
8.1.1. Виды болтов.....	179
8.1.2. Виды болтовых соединений.....	182
8.2. Работа и расчет болтовых соединений.....	185

8.2.1. Работа и расчет болтовых соединений на растяжение .....	185
8.2.2. Работа и расчет болтовых соединений на сдвиг .....	186
8.2.3. Работа и расчет соединений на высокопрочных болтах .....	187
8.2.4. Проверки прочности сечения соединяемых элементов .....	191
8.3. Конструирование болтовых соединений .....	191
<b>Глава 9. Балки</b> .....	195
9.1. Общая характеристика балок .....	195
9.1.1. Классификация балок .....	196
9.2. Прокатные балки .....	200
9.2.1. Подбор сечения прокатных балок .....	200
9.2.2. Проверки прочности прокатных балок .....	202
9.2.3. Проверка общей устойчивости прокатных балок .....	203
9.2.4. Проверка жесткости прокатных балок .....	204
9.3. Составные балки .....	205
9.3.1. Подбор сечения составной балки .....	205
9.3.2. Проверки прочности составной балки .....	213
9.3.3. Изменение сечения балок .....	216
9.3.4. Проверки устойчивости составной балки .....	219
9.4. Сопряжения балок с колонной .....	226
9.4.1. Шарнирные опорные узлы балок .....	226
9.4.2. Жесткие опорные узлы балок .....	229
9.5. Соединения поясов со стенкой .....	230
9.6. Стыки балок .....	234
9.6.1. Стыки прокатных балок .....	234
9.6.2. Стыки составных сварных балок .....	236
9.7. Способы совершенствования балочных конструкций .....	242
<b>Глава 10. Централно сжатые колонны и стойки</b> .....	243
10.1. Классификация колонн .....	243
10.2. Проектирование сплошных колонн .....	246
10.2.1. Общие положения расчета сплошных колонн .....	246
10.2.2. Подбор сечения сплошного центрально сжатого стержня .....	254
10.3. Проектирование сквозных колонн .....	256
10.3.1. Общие положения расчета сквозных колонн .....	256
10.3.2. Подбор сечения сквозного центрально сжатого стержня .....	262

10.4. Конструирование и расчет узлов колонн .....	268
10.4.1. Базы колонн .....	268
10.4.2. Оголовки колонн .....	274
10.4.3. Стыки колонн .....	279
<b>Глава 11. Фермы</b> .....	<b>280</b>
11.1. Характеристика и классификация ферм .....	280
11.2. Компоновка ферм .....	288
11.3. Типы сечений стержней ферм .....	291
11.4. Расчет ферм .....	295
11.4.1. Определение нагрузок на ферму .....	295
11.4.2. Определение усилий в элементах фермы .....	296
11.4.3. Определение расчетных длин стержней ферм .....	299
11.4.4. Подбор сечений центрально нагруженных элементов ферм .....	302
11.4.5. Подбор сечений элементов ферм при действии продольной силы с изгибом .....	305
11.4.6. Подбор сечений стержней ферм по предельной гибкости .....	305
11.5. Конструирование легких ферм .....	306
11.5.1. Общие положения .....	306
11.5.2. Узлы ферм .....	307
11.5.3. Фермы из круглых и прямоугольных труб .....	308
11.5.4. Фермы из одиночных уголков и тавров .....	313
11.5.5. Фермы из парных уголков .....	314
11.6. Опираение ферм на колонны .....	319
<b>Литература</b> .....	<b>321</b>
<b>Приложения</b> .....	<b>323</b>
Приложение 1. Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката .....	323
Приложение 2. Расчетные сопротивления сварных соединений для различных видов напряженных состояний .....	324
Приложение 3. Материалы для сварки строительных сталей .....	325
Приложение 4. Нормативные и расчетные сопротивления металла угловых швов сварных соединений .	326
Приложение 5. Коэффициенты глубины проплавления угловых швов $\beta_f$ и $\beta_z$ .....	326

Приложение 6. Минимальные катеты угловых швов .....	327
Приложение 7. Площади сечения болтов брутто и нетто.....	327
Приложение 8. Расчетные сопротивления стали болтов среза и растяжению болтов для одноболтовых соединений.....	328
Приложение 9. Нормативные и расчетные сопротивления растяжению высокопрочных болтов из стали 40Х по ГОСТ Р 52643 .....	328
Приложение 10. Марки стали фундаментных болтов.....	328
Приложение 11. Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами.....	329
Приложение 12. Коэффициенты трения и коэффициенты надежности фрикционного болтового соединения.....	329
Приложение 13. Коэффициенты устойчивости $\varphi$ при центральном сжатии по СП 16.13330.2011.....	330
Приложение 14. Типы сечения колонн по СП 16.13330.2011.....	331
Приложение 15. Выборка из сортамента горячекатаного листового проката по ГОСТ 19903-74* .....	331
Приложение 16. Выборка из сортамента горячекатаного широкополосного универсального проката по ГОСТ 82-70* .....	331
Приложение 17. Двутавры стальные горячекатные по ГОСТ 8239-89 .....	332
Приложение 18. Уголки стальные горячекатные равнополочные по ГОСТ 8509-93 .....	333
Приложение 19. Двутавры стальные горячекатные с параллельными гранями полок по ГОСТ 26020-83 .....	335
Приложение 20. Швеллеры стальные горячекатные по ГОСТ 8240-97 .....	339
Приложение 21. Профили гнутые замкнутые сварные квадратного сечения по ТУ 36-2287-80.....	341
Приложение 22. Профили гнутые замкнутые сварные прямоугольного сечения по ТУ 67-2287-80.....	342

Учебник

Николай Сергеевич **Москалев**

Яков Александрович **Пронозин**

Валентина Сергеевна **Парлашкевич**

Наталья Дмитриевна **Корсун**

# **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ СВАРКУ**

Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев, Е.В. Орлов*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Т.А. Негророва*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 31.07.14.

Формат 60x90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 22 п.л. Тираж 500. Заказ №

ООО «Издательство АСВ»

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511  
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: [iasv@iasv.ru](mailto:iasv@iasv.ru), <http://www.iasv.ru/>