

АРСС

Ассоциация развития  
стального строительства

# СТАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В ЕВРОПЕ

Руководство для  
архитекторов

**ЧАСТЬ 1**

Многоэтажные стальные  
здания





Ассоциация развития  
стального строительства

СТАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В ЕВРОПЕ  
Многоэтажные стальные здания

ЧАСТЬ 1. РУКОВОДСТВО  
ДЛЯ АРХИТЕКТОРОВ

*Перевод с английского*

УДК 624.014.2  
ББК 38.54  
Г15

**Издание подготовили:**

Вера Владимировна Галишникова, д. т. н., PhD  
Директор департамента архитектуры и строительства  
Российского Университета Дружбы Народов (РУДН)

Софья Александровна Печорская,  
независимый эксперт по конструктивным решениям  
и инновационным технологиям в международной  
строительной индустрии

Steel Buildings in Europe  
MULTI-STOREY STEEL BUILDINGS  
Part 1: Architect's guide

ArcelorMittal  
Peiner Träger  
Corus Group  
Centre Technique Industriel de la Construction Métallique  
Steel Construction Institute  
Steel Alliance

This document is translated from STEEL BUILDINGS IN EUROPE, Multi Storey Steel Buildings, Part 1: Architect's Guide which was produced in the framework of the European project "Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO)" and received funding from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement n° RFS2-CT-2008-0030. This translation is produced and made available by kind permission of the copyright owner, ArcelorMittal.

Г15 **Стальные здания в Европе. Многоэтажные стальные здания. Часть 1 : Руководство для архитекторов / Ассоциация развития стального строительства ; [пер. с англ. : В.В. Галишникова, С.А. Печорская]. – Москва : АКЦИОМ ГРАФИКС юнион, 2017. – 64 с. : ил.**

Данная книга представляет собой первую часть из серии публикаций, посвященных вопросам проектирования современных многоэтажных зданий с применением инновационных технологий стального строительства. В первую очередь книга предназначена для архитекторов и содержит основные сведения о стальных материалах и изделиях, а также практические рекомендации о том, как достичь максимальной эффективности использования стали, исходя из особенностей конструктивной работы стальных каркасов, характеристик ограждающих конструкций, термических и акустических свойств стали, а также принципов экоустойчивости.

В книге приводятся таблицы для предварительного выбора несущих и ограждающих конструкций с типовым расположением строительных элементов и их размерами.

УДК 624.014.2  
ББК 38.54

# Обращение Ассоциации развития стального строительства

## Уважаемые читатели!

Во все эпохи сталь доказывала свои преимущества как материал для строительства самых знаменитых зданий по всему миру. Но сталь позволяет достичь не только технического совершенства. Этот материал также обладает множеством качеств, делающих его привлекательным и предпочтительным для архитекторов, особенно в многоэтажных зданиях. Данное пособие написано архитекторами для архитекторов и содержит информацию о стальных материалах и изделиях, а также практические рекомендации о том, как достичь максимальной эффективности использования стали исходя из особенностей конструктивной работы стальных каркасов, характеристик ограждающих конструкций, термических и акустических свойств стали, а также принципов устойчивого строительства.

Публикация является первой частью из серии книг, посвященных вопросам стального строительства. Уверены, что вы найдете много полезной информации, которую сможете применить на практике в самое ближайшее время.

Мы всегда рады получить от вас пожелания и рекомендации по выпущенным изданиям. Связаться с нами можно по телефону +7 (495) 744-02-63 или электронной почте [info@steel-development.ru](mailto:info@steel-development.ru).



Генеральный директор АРСС  
Дмитрий Сергеевич Еремеев



Ассоциация развития  
стального строительства

# Предисловие к изданию

Вопросам проектирования и строительства зданий и сооружений с применением металлоконструкций посвящено множество книг, учебников, справочников, руководств по проектированию и т. д., написанных известными российскими и советскими учеными и инженерами-практиками. Многие издания с момента их первой публикации многократно переиздавались и уже давно стали настольными книгами каждого российского инженера-конструктора. Классические советские учебники по проектированию металлоконструкций до сих пор широко используются в учебном процессе в средних профессиональных и высших учебных заведениях.

Необходимо отметить, что авторы большинства российских изданий, написанных в постсоветский период, в значительной степени следуют традиционным подходам и принципам проектирования металлоконструкций, которые были заложены их знаменитыми советскими предшественниками. Основной подход к применению стали в строительной отрасли СССР заключался в минимизации ее потребления, поскольку сталь рассматривалась как материал стратегического назначения, предназначенный, в первую очередь, для нужд военно-промышленного комплекса.

Исходя из этого принципа, номенклатура зданий и сооружений, в которых использование металлоконструкций считалось целесообразным и экономически оправданным, была весьма ограниченной. В этот перечень входили объекты инфраструктуры, промышленные здания и сооружения, телекоммуникационные башни, а также многоэтажные здания гражданского назначения, к которым относились, в первую очередь, высотные здания, например, так называемые сталинские высотки. Применение стали для строительства ординарных зданий гражданского назначения малой и средней этажности не предусма-

тривалось, и вопросы проектирования таких зданий с использованием металлоконструкций практически не рассматривались в общедоступной инженерной литературе.

В настоящее время ситуация коренным образом изменилась. Участники рынка стального строительства убеждены в целесообразности применения металлоконструкций для абсолютно любых зданий и сооружений, независимо от их этажности и назначения. Производители металлопроката, стальных конструкций и сопутствующих материалов и изделий проводят политику, направленную на максимальное расширение сферы применения стали в отрасли строительного производства, популяризацию стали как строительного материала среди проектировщиков и строителей. В условиях глобализации рынка передовых строительных технологий как западные, так и российские производители готовы предложить потенциальным потребителям – участникам строительной индустрии огромное разнообразие стальных конструкций, материалов и изделий.

С другой стороны, при реализации коммерческих строительных проектов, начиная с разработки архитектурной концепции и привлечения инвестиций, приоритетными становятся такие критерии будущего объекта капитального строительства, как его архитектурная привлекательность и выразительность, гибкость объемно-планировочных решений, хорошая адаптируемость функционального зонирования внутреннего пространства здания и его назначения в целом. Передовые современные технологии стального строительства позволяют достичь самых высоких показателей проекта в соответствии со всеми указанными критериями.

Параллельно с ростом рынка строительной продукции и повышением требований заказчиков и инвесторов к качеству и потребительским

свойствам конечного строительного продукта происходит развитие и расширение нормативной базы проектирования металлоконструкций.

В такой ситуации информация, содержащаяся в традиционных «культовых» учебниках и справочниках, основанных на советских подходах к проектированию металлоконструкций, оказывается далеко не полной и перестает удовлетворять насущным потребностям профессионального инженерного сообщества. В связи с этим весьма актуальной и своевременной представляется идея ознакомления российских проектировщиков и строителей с наиболее современными принципами и подходами к проектированию металлоконструкций, основанными на опыте стального строительства многоэтажных зданий в Европе.



*Фото на обложке: Современное здание на стальном каркасе.  
Фотоматериалы предоставлены Shutterstock/FOTODOM*

# Вступление

Эта публикация является первой частью руководства по проектированию «Многоэтажные стальные здания», которое состоит из 10 частей:

Часть 1. Руководство для архитекторов

Часть 2. Основные проектные решения

Часть 3. Нагрузки

Часть 4. Рабочее проектирование металлоконструкций

Часть 5. Проектирование узлов и соединений металлоконструкций

Часть 6. Пожарозащита стальных конструкций

Часть 7. Нормативное и техническое регулирование отрасли стального строительства

Часть 8. Программное обеспечения для автоматизации подбора сечений

Часть 9. Программное обеспечение для автоматизации проектирования узлов металлоконструкций

Часть 10. Программное обеспечение для автоматизации проектирования композитных балок.

«Многоэтажные стальные здания» является одним из двух руководств по проектированию. Второе руководство называется «Одноэтажные стальные здания».

Оба руководства по проектированию были выпущены в рамках европейского проекта «Содействие развитию рынка для применения стального проката в промышленных и малоэтажных зданиях».

Оба пособия по проектированию были подготовлены к изданию под руководством компаний Arcelor Mittal, Peiner Träger и Corus. Техническое содержание разработано Индустриально-техническим центром стального строительства (CTICM – Centre Technique Industriel de la Construction Métallique) и Британским институтом стального строительства (SCI – Steel Construction Institute) совместно с североамериканской организацией «Стальной альянс» (Steel Alliance).

# Содержание

<b>ВСТУПЛЕНИЕ</b> .....	<b>8</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....	<b>9</b>
<b>1. ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>10</b>
<b>2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА</b> .....	<b>12</b>
2.1. Архитектурное творчество и гибкость .....	12
2.2. Заводское изготовление – индустриальность и технологичность металлоконструкций .....	14
2.3. Эволюция стального строительства .....	14
2.4. Расширение зданий и их реконструкция .....	15
<b>3. СТАЛЬ – МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ</b> .....	<b>17</b>
3.1. Сталь как строительный материал .....	17
3.2. Стальные изделия .....	17
<b>4. ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ: НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ</b> .....	<b>21</b>
4.1. Конструктивная схема здания .....	21
4.2. Связи .....	26
4.3. Плиты перекрытий .....	29
4.4. Узлы .....	32
4.5. Выводы .....	34
<b>5. ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ</b> .....	<b>35</b>
5.1. Фасады .....	35
5.2. Системы покрытий .....	41
5.3. Конструкция покрытий .....	44
5.4. Системы возобновляемой энергии .....	45
<b>6. ПРОЧИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b> .....	<b>46</b>
6.1. Сейсмостойчивость .....	46
6.2. Пожаробезопасность .....	47
6.3. Звукоизоляция .....	53
6.4. Теплоизоляция .....	55
6.5. Долговечность стальных конструкций .....	56
6.6. Интеграция инженерных коммуникаций .....	59
<b>7. СТАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКОУСТОЙЧИВОСТЬ</b> .....	<b>61</b>
7.1. Жизненный цикл здания .....	61
7.2. Преимущества использования стальных конструкций и изделий в строительстве .....	62
7.3. Эффективные решения стальных конструкций для зданий .....	62
<b>8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>65</b>
<b>ССЫЛКИ</b> .....	<b>65</b>

# 1 Введение

Что общего имеют между собой колоннада в Лувре (1670) Клода Перро, башни жилых зданий Lake Shore Drive (1951) Людвиг Миса ван дер Роэ, церковь Св. Женевьевы в Париже (1759) Жак-Жермена Суффло, центр Жоржа Помпиду в Париже (1977) Ренцо Пиано и Ричарда Роджера, а также отель «Индустриэль» в Пантене (1990) Жана Нувеля? Каждое из этих зданий является свидетельством великой эпохи металла в строительстве.

Конечно, переход от железа, применявшегося для усиления конструкций и изготовления декоративных элементов, к легким и воздушным стальным каркасам, какими мы их знаем сегодня, оказался очень долгим процессом. Он занял не менее 300 лет исторического прогресса, инноваций, творческого воображения и созидательной работы архитекторов, конструкторов и металлургов. Архитекторы создали новые архитектурные формы из чугуна, железа, а затем и стали. Возведение новых конструкций, которое когда-то казалось невыполнимым и даже утопическим, стало возможным благодаря техническому опыту и изобретательности конструкторов. В то же самое время производители металла неустанно работали над созданием новых материалов и изделий.

Интерес к использованию металла в строительстве за три сотни лет проявлялся по-разному. Чугун, когда-то

применявшийся в строительстве, был дорогим, тяжелым и хрупким и использовался в особом виде усиления конструкций, продиктованном стилем того времени: в сооружениях гигантских размеров устойчивость каменной кладки обеспечивалась соединением каменных блоков при помощи железных скреп.

Современный подход к применению железа и стали совершенно иной. Железо привело к изменению проектных решений и появлению сортамента прокатных профилей (двутавров, тавров и уголков). Благодаря заклепочным соединениям стало возможным выполнять сборку отдельных прокатных профилей в конструкции всех видов. Знаковым достижением стал Хрустальный дворец, спроектированный архитектором Джозефом Пакстоном в 1851 году. Это здание явилось предшественником модульной архитектуры со сборными несущими элементами конструкций.

Рисунок 1.1. Хрустальный дворец в Лондоне.

Фото находится в открытом доступе в «Википедии»



Использование стали послужило толчком к созданию новых процессов монтажа, технологий проката, а также методов расчета и моделирования. Стало возможным использование больших пролетов, например, в промышленных зданиях (универмаг «Самаритэн» в Париже, открытый в 1917 году), а также при строительстве объектов инфраструктуры и транспорта (Четвертый железнодорожный мост в Шотландии, 1890 год).

Применение стали в строительстве направлено не только на достижение технического совершенства. Сталь обладает множеством свойств, которые делают этот материал предпочтительным также для архитекторов. Сталь экономична и обладает значительной технической функциональностью, что

позволяет достичь изящества, легкости и воздушности при проектировании конструкций, эффективности и рациональности технологических процессов на строительной площадке, а также обеспечить высокую скорость монтажа металлоконструкций. Тем не менее главным преимуществом является неограниченная свобода творчества, которую сталь дает архитекторам. Сочетания различных материалов позволяют достичь богатства и разнообразия конструктивных решений. Например, в сочетании со стеклом сталь открывает великолепные возможности использования света и пространства.

Эта книга, предназначенная для архитекторов, дает обзор преимуществ использования стали в строительстве

многоэтажных зданий, а также обобщает наиболее эффективный опыт, связанный с такими конструкциями. Независимо от архитектурно-функционального назначения здания, будь то жилые здания, офисы, торговые, культурные или промышленные объекты, проектировщику будет полезно прочесть эту книгу, в которой рассмотрены следующие вопросы:

- Материалы и их свойства, а также доступные на рынке изделия для строительства
- Проектирование несущих конструкций
- Проектирование ограждающих конструкций (различные типы фасадов и покрытий, интегрирование солнечных батарей и т. д.)
- Экоустойчивость стального строительства.



Рисунок 1.2. Офисное здание в Париже

На указанных ниже веб-сайтах можно найти иллюстрации к безграничному разнообразию возможностей использования стали в строительстве зданий и сооружений.

[www.access-steel.com](http://www.access-steel.com) (англ. яз.)

[www.acierconstruction.com](http://www.acierconstruction.com) (фр. яз.)

[www.construiracier.fr](http://www.construiracier.fr) (фр. яз.)

[www.infosteel.be](http://www.infosteel.be) (фр. и голланд. яз.)

[www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl) (голланд. яз.)

[www.bauforumstahl.de](http://www.bauforumstahl.de) (нем. яз.)

[www.sbi.se](http://www.sbi.se) (швед. яз.)

[www.szs.ch](http://www.szs.ch) (фр. и нем. яз.)

[www.apta.com.es](http://www.apta.com.es) (испанский яз.)

[www.promozioneacciaio.it](http://www.promozioneacciaio.it) (итал. яз.)

[www.eurobuild-in-steel.com](http://www.eurobuild-in-steel.com) (англ. яз.)

## 2 Функциональные качества

### 2.1. Архитектурное творчество и гибкость

Методы строительства приносят инновации в архитектурно-функциональные, эстетические и художественные решения, освобождаясь от опыта традиционного строительства. Осознание проблем окружающей среды, вызванных человеческой деятельностью, ведет к необходимости создания новых строительных систем, отвечающих современным вызовам (см. раздел 7).

Сталь является незаменимым материалом для создания новых конструкций и архитектурных форм. Возможны любые решения от самых простых до сверх-сложных. Сталь может быть использована как для небольших зданий, так и для крупных сооружений; для рядовых строительных проектов, а также для тех, которые осуществляются в сложных стесненных условиях городской застройки.

Ни один другой материал не позволяет создавать такие изящные, легкие и воздушные конструкции, как сталь. Можно создавать чистые архитектурные формы с четко очерченными кривыми поверхностями, основываясь на особенностях работы конструкций.

Проектировщики могут дать полную свободу своему творческому воображению.

В соответствии с общей архитектурной концепцией стальные элементы несущего каркаса могут быть как невидимыми для человеческого взгляда, так и намерено выставленными на обозрение, что позволяет показать внутренний остов здания. Все преимущества стального строительства остаются актуальными в обоих случаях: простота модульного проектирования, компактность, экономия материалов, свобода архитектурно-функционального зонирования внутреннего пространства, скорость монтажа и т. д.

*Архитектурное творчество и гибкость*

*Заводское изготовление – индустриальность и технологичность металлоконструкций*

*Эволюция стального строительства*

*Расширение зданий и их реконструкция*



Рисунок 2.1. Энергоэффективное здание в Лондоне.  
(фото из «Википедии»  
[http://en.wikipedia.org/wiki/ING\\_Group](http://en.wikipedia.org/wiki/ING_Group))



Рисунок 2.2. Здание штаб-квартиры банка ING в Амстердаме.  
(фото из «Википедии»  
[http://en.wikipedia.org/wiki/ING\\_Group](http://en.wikipedia.org/wiki/ING_Group))

Сталь обеспечивает гибкость, необходимую для видоизменения и развития архитектурно-планировочных решений здания в течение всего периода эксплуатации. Возможность будущих изменений и преобразований может быть изначально предусмотрена при проектировании объекта капитального строительства, что позволяет значительно облегчить практическую реализацию любых перепланировок.

- Изменение приложенных нагрузок, связанное с изменением функционального назначения.
- Конструктивная схема плит перекрытий, предусматривающая возможность создания новых отверстий.
- Горизонтальная и вертикальная логистика, схема расположения эвакуационных выходов: соответствующие меры могут быть приняты для того, чтобы в наибольшей степени ограничить влияние архитектурных перепланировок на несущий каркас здания.

Большие пролеты представляют собой одно из главных преимуществ зданий из стальных конструкций благодаря высокому качеству стальных материалов и изделий. Большие пролеты облегчают дальнейшее развитие и изменение конструктивных элементов. Для создания максимально свободного внутреннего пространства элементы несущего каркаса совмещаются со стеновыми ограждающими конструкциями. Большие пролеты, когда-то использовавшиеся преимущественно в промышленных или складских зданиях, сейчас нашли широкое применение в строительстве офисов или жилых домов.

Каркасные конструктивные схемы с несущими колоннами являются предпочтительными по сравнению со схемами с несущими стенами, так как они позволяют создать гибкое планировочное пространство, допускающее развитие здания в будущем. Несущие элементы каркаса здания должны быть отделены от системы ограждающих конструкций и внутренних перегородок, что обеспечит возможность будущих преобразований. Фасады, крыши и перегородки, не являющиеся элементами несущей системы, могут быть легко демонтированы или заменены.

В многоэтажных стальных зданиях системы вертикальных связей должны быть расположены таким образом, чтобы не создавать препятствий для свободного использования внутреннего пространства.

При проектировании металлоконструкций необходимо понимать различные аспекты строительного процесса и отдельных элементов здания, а именно:

- Плит перекрытий
- Фасадов
- Перегородок
- Покровов.

Каждый из перечисленных элементов здания включает в себя разнообразные стальные изделия, монтируемые в определенном порядке (см. соответствующий раздел).

## 2.2. Заводское изготовление – индустриальность и технологичность металлоконструкций

Методы монтажа готовых металлоконструкций и их типовых узлов и элементов, а также их легкая адаптируемость к требованиям конкретного проекта значительно упрощают проектирование и строительство зданий, гармонично соответствующих своему назначению.

Все элементы несущего каркаса здания изготавливаются производителями проката или металлоконструкций с использованием автоматизированного оборудования и станков с числовым программным управлением (ЧПУ) для выполнения операций резки и гибки. При этом точность изготовления находится в пределах нескольких миллиметров, тогда как для других строительных материалов строительные допуски составляют до нескольких сантиметров. Качество готовой продукции контролируется самым тщательным образом.

Элементы и узлы металлоконструкций, изготовленные в заводских условиях, поставляются на строительную площадку в готовом виде. Металлоконструкции полностью готовы к использованию и монтажу и не требуют доработки.



Рисунок 2.3. Многоэтажное промышленное здание в Монако в стадии монтажа

Одно из главных качеств металлоконструкций – это значительная скорость изготовления и строительства, а также монтажа и демонтажа временных конструкций (например, в модульном строительстве).

Умелое использование стальных конструкций и изделий, изготовленных производителями, которые постоянно развиваются и совершенствуются, играет значительную роль в изменении нашего городского ландшафта.

## 2.3. Эволюция стального строительства

Сегодняшнее восприятие стали эволюционировало. Были изучены и подтверждены экспериментами свойства стали, выявлены ее преимущества. Более того, наличие очень широкого ассортимента сопутствующей продукции означает, что металлические конструкции способны достойно соответствовать быстро изменяющимся потребностям и стилю жизни.

Многие здания, построенные после Второй мировой войны и более не отвечающие современным требованиям, могут быть сохранены, перестроены и расширены в том случае, если они обладают значительной исторической ценностью.

Ограждающими стенами зданий с несущим металлокаркасом обычно служат легкие многослойные фасадные панели. Такое техническое решение позволяет в наибольшей степени учесть и использовать все преимущества стальных строительных материалов.

## 2.4. Расширение зданий и их реконструкция

### 2.4.1. Надстройка этажей зданий

Расширение полезной площади здания часто выполняется в процессе его общей реконструкции. Методы производства строительно-монтажных работ (СМР) по надстройке здания со стальным каркасом позволяют одновременно выполнять и реконструкцию существующих площадей здания, что приводит к значительному сокращению сроков производства СМР. Таким образом, реконструкция может выполняться параллельно с ведением работ по надстройке здания и без дополнительных задержек.

В зависимости от конструктивной схемы надстройки, и в случае железобетонного здания, ширина которого не меняется, стальной каркас надстройки может опираться по большей части на наружные железобетонные стены или колонны или даже крепиться к наружным стенам фасадов на каждом этаже для наилучшего распределения нагрузок. Оба эти решения позволяют избежать необходимости возведения новых несущих элементов на разных этажах или новых фундаментов, строительство которых является дорогим, трудозатратным и трудновыполнимым в условиях существующего здания.



Рисунок 2.4. Надстройка этажей здания

### 2.4.2. Увеличение ширины здания

Когда есть подходящие условия для перестройки существующего здания, применение стальных конструкций также обеспечивает возможность реализации эффективных технических решений для увеличения его ширины.



Рисунок 2.5. Расширение многоэтажного здания

В зависимости от конструктивных особенностей несущего каркаса существующего здания и градостроительных характеристик участка застройки возможно несколько вариантов технических решений, таких как:

- Стальные рамы несущего каркаса пристройки устанавливаются параллельно существующему зданию;
- Жесткие Г-образные рамы, опирающиеся с одной стороны, в зависимости от конкретного проекта, на новые отдельно стоящие фундаменты, и шарнирно-опертые с другой стороны на несущие конструкции существующего здания;
- Балки, подвешиваемые к балкам несущего каркаса существующего здания.
- Стальные конструкции новой пристраиваемой части здания крепятся к плитам перекрытий с использованием закладных пластин, обеспечивающих равномерное распределение нагрузок.

### 2.4.3. Перепланировка и реконструкция промышленных зданий

Реконструкция и перепланировка составляют около 50 % всех реализуемых строительных проектов.

Здания со стальным каркасом особенно хорошо приспособлены для реконструкции, которая во многих случаях касается объектов, построенных из стали в XIX веке, таких как вокзалы, рыночные павильоны и промышленные мастерские, находящиеся в городских районах с плотной застройкой.

Очень легко демонтировать отдельные элементы, чтобы убрать отдельные пролеты или модифицировать их размеры, заменить размеры сечений балок или колонн. Возможность подвешивания новых перекрытий к конструкциям покрытия обеспечивает дополнительную гибкость при выполнении новых проектов, связанных с перепланировками и реконструкциями существующих зданий.

Также стоит заметить, что малый собственный вес стальных конструкций является особенно важным преимуществом в случае необходимости надстройки новых этажей посредством крепления их к существующим конструкциям (после выполнения необходимых поверочных расчетов). Если требуется устройство новых фундаментов для опирания новых конструкций, то такие фундаменты могут быть легко спроектированы таким образом, чтобы избежать влияния на существующие фундаменты.

Реконструкция и перепланировка с изменением функции сравнительно старых зданий (таких, как показаны на рисунке 2.6) всегда требует выполнения работ, направленных на приведение здания в соответствие с существующими стандартами. Это может включать:

- Устройство эвакуационных выходов
- Расширение коммуникаций в связи с увеличенными людскими потоками
- Установка новых воздуховодов для систем вентиляции и дымоудаления
- Огнезащита и противокоррозионная защита стальных конструкций
- Усиление несущих конструкций для восприятия новых нагрузок
- Устройство новых средств доступа в здание.



Рисунок 2.6. Штаб-квартира компании «Нестле» во Франции, г. Нуазье

## 3 Сталь — материалы и изделия

### 3.1. Сталь как строительный материал

Сталь обладает исключительно высокими прочностными характеристиками. Среди всех материалов, широко распространенных в строительной индустрии, именно сталь является самым легким материалом, имеющим наиболее высокую прочность как на растяжение, так и на сжатие. Для архитекторов это открывает огромный выбор технических и эстетических решений.

Существует множество видов различных по своему составу сталей, среди которых можно выделить три главных категории:

- Малоуглеродистые и низколегированные стали
- Нержавеющие стали
- Легированные стали.

В строительстве наиболее широко используются малоуглеродистые и низколегированные стали. Для изготовления несущих элементов в основном используются классы по прочности С235, С275 и С355 (классификация в соответствии с европейскими стандартами. – Прим. перев.). Однако высокопрочная сталь класса С460 также находит все большее применение в строительстве.

Стальные конструкции и изделия должны обладать определенными характеристиками, в зависимости от класса стали и формы поперечных сечений элементов, указанными в национальных или европейских стандартах.

Более подробную информацию можно найти на веб-сайтах:

[www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections)

[www.corusconstruction.com](http://www.corusconstruction.com)

[www.peiner-traeger.de](http://www.peiner-traeger.de)

### 3.2. Стальные изделия

Стальные изделия и конструкции могут относиться к двум главным категориям, как показано на рисунке 3.1

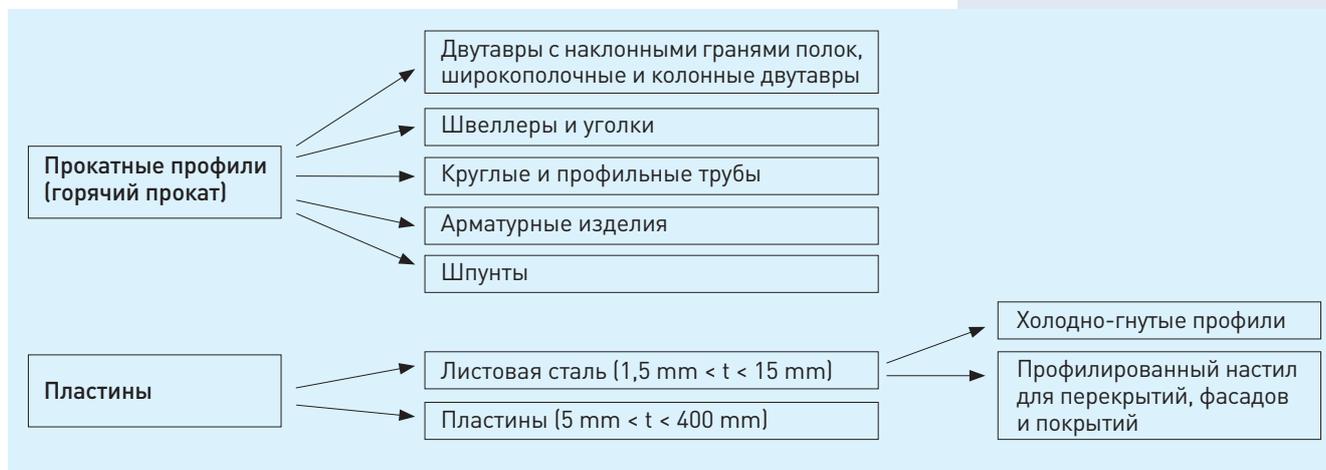


Рисунок 3.1. Главные категории стальной продукции, применяемой в строительстве

*Сталь как строительный материал*

*Стальные изделия*

## 3.2.1. Горячекатаный прокат

Горячекатаный прокат, который часто называют «прокатные сечения», или «прокатные профили», обычно используется для основных элементов несущего каркаса здания (колонн, балок, связей).

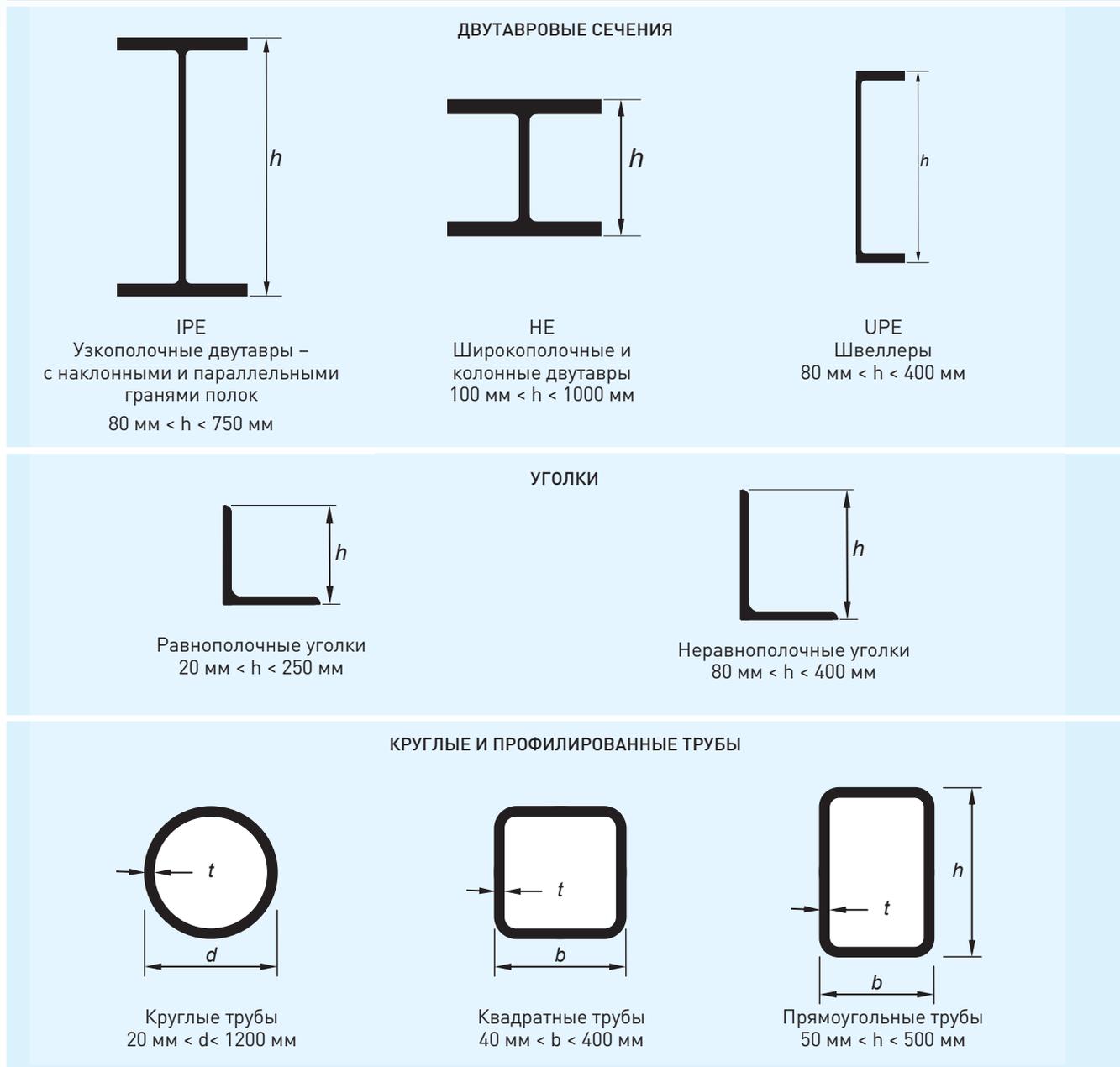


Рисунок 3.2. Главные категории стальной продукции, применяемой в строительстве

Прокатные элементы подвергаются различным видам обработки с применением операций резки, сварки, гибки и т. д. для того, чтобы получить разнообразные стальные изделия с улучшенными характеристиками.

Именно таким образом можно изготавливать балки с перфорированными стенками (рисунок 3.3) из узкополочных или широкополочных двутавров с применением технологических операций кислородной резки и сварки.



Рисунок 3.3. Балки с перфорированными стенками, изготовленные из прокатных профилей

### 3.2.2. Холодногнутые стальные профили

Элементы из холодногнутых профилей, изготовленных из тонколистовой стали, обычно используются в качестве второстепенных элементов фасадов (импостов) и покрытий (прогонов).

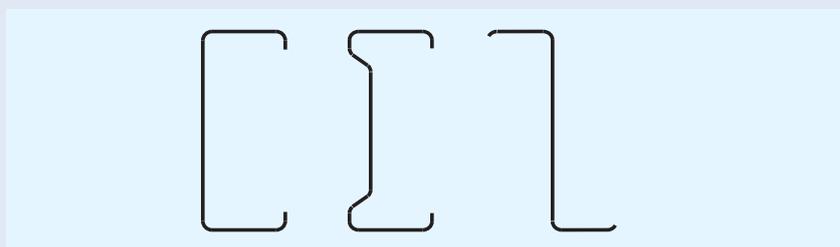


Рисунок 3.4. Типовые сечения холодногнутых профилей

### 3.2.3. Изделия из листовой стали

При строительстве зданий изделия из листовой стали в основном используются для изготовления следующих конструкций:

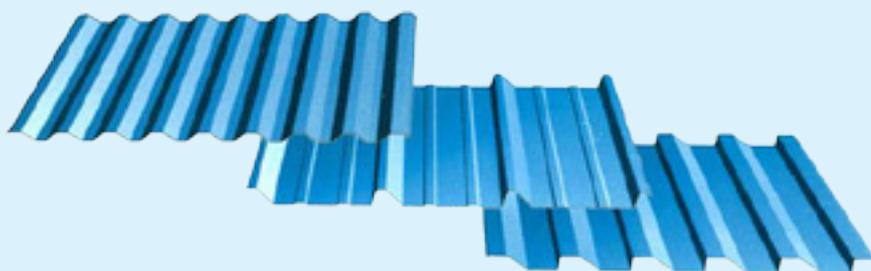
- Профилированный настил для плит перекрытий
- Легкие стальные покрытия
- Легкие стальные конструкции навесных фасадов.

В каждом случае используется тонколистовая сталь, часто в виде профилированного настила (см. рисунок 3.5).

ПРОФИЛИРОВАННЫЙ НАСТИЛ  
ДЛЯ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ



ПРОФИЛИРОВАННЫЙ НАСТИЛ  
ДЛЯ ПОКРЫТИЙ



ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ФАСАДОВ:  
ПРОФИЛИРОВАННЫЙ НАСТИЛ  
И МНОГОСЛОЙНЫЕ СТЕНОВЫЕ  
ПАНЕЛИ

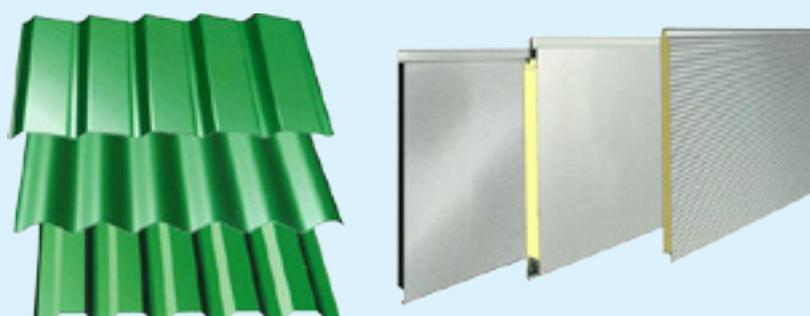


Рисунок 3.5. Использование листовой стали в строительстве

# 4 Основы эффективного проектирования: несущие конструкции

## 4.1. Конструктивная схема здания

В многоэтажных конструкциях восприятие и перераспределение нагрузок обеспечивается основным несущим каркасом здания, состоящим из балок и колонн.

### 4.1.1. Элементы основного несущего каркаса

Оптимизация компоновки несущего каркаса – это вопрос, который всегда встает на этапе проектирования, и при ответе на который необходимо учитывать функциональное назначение здания. Колонны всегда являются помехой с точки зрения планировки внутреннего пространства, поэтому их количество должно быть максимально ограничено. В типовых каркасах жилых зданий используются пролеты порядка от 4,5 до 6 м. Применяемые в офисных зданиях большие пролеты от 12 до 18 м и в парковках – от 15 до 16 м помогают освободить значительные площади во внутреннем пространстве здания.

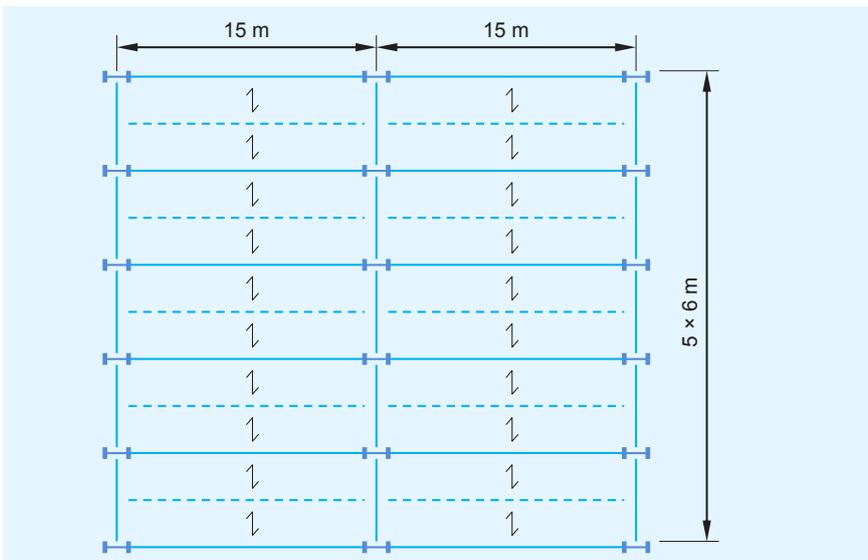


Рисунок 4.1. Пример расположения сетки несущих элементов каркаса стального здания

Шаг несущих рам также зависит от типа фундаментных конструкций, соответствующих грунтовым условиям. Применение стальных каркасов позволяет уменьшить общий вес здания и таким образом уменьшить нагрузку на фундамент и его размеры.

Конструктивная схема здания

Связи

Плиты перекрытий

Узлы

Выводы

#### 4.1.2. Колонны

Колонны служат для восприятия вертикальных нагрузок и передачи их на фундамент. Однако часть горизонтальных нагрузок (ветровые воздействия) также воспринимается колоннами. В многоэтажных зданиях колонны подвержены значительным сжимающим усилиям и проектируются с учетом потери устойчивости.

Выбор колонн обычно осуществляется по следующим критериям:

- Архитектурные предпочтения
- Сетка и шаг колонн
- Стоимость стального проката (двутавры дешевле, чем круглые и профильные трубы)
- Стоимость и сложность монтажа
- Простота и легкость узлов соединений с второстепенными конструкциями (фасадов, стен, потолков и т. д.)
- Дополнительные трудозатраты и расход сопутствующих материалов, необходимые для выполнения комплекса мероприятий, направленных на обеспечение основных требований по огнестойкости металлоконструкций, защиты стали от коррозии и т. д.

В таблице 4.1 приведены основные типы колонн, применяемых в многоэтажных зданиях. Композитные колонны имеют более высокую огнестойкость.

Таблица 4.1. Основные типы колонн

	СТАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ	КОМПОЗИТНЫЕ СЕЧЕНИЯ
ДВУТАВРОВЫЕ КОЛОННЫ		
ТРУБЧАТЫЕ КОЛОННЫ		

Колонны здания, показанного на рисунке 4.2, придают зданию архитектурную выразительность, а также обеспечивают экономию затрат на материалы и эффективность работы конструкций.

Рисунок 4.2. Элементы несущего каркаса здания с затяжками



Переменный размер поперечных сечений может придать определенный архитектурный динамизм внешнему облику таких колонн, состоящих из стандартных прокатных профилей или пластин. Характерной особенностью является то, что размер поперечного сечения изменяется по длине колонны, что также способствует повышению эффективности работы конструкции.

Поскольку сталь работает на растяжение так же хорошо, как и на сжатие, это делает возможным применение растянутых стальных элементов, подвесок или затяжек, обеспечивающих опору для балок перекрытий. Такие технические решения являются более предпочтительными с архитектурно-функциональной точки зрения, так как позволяют уменьшить количество колонн, загромождающих внутреннее пространство здания.

Рисунок 4.3. Каркас здания с подвесными конструкциями



#### 4.1.3. Балки

Балки воспринимают вертикальные нагрузки и в основном работают на изгиб. Поэтому поперечные сечения балок должны обладать достаточной прочностью и жесткостью в вертикальной плоскости.

Существует много различных типов балок (см. таблицу 4.2). Среди них наиболее эффективными для использования в многоэтажных зданиях являются композитные балки. В комбинации со сталью бетон работает на сжатие, а сталь, главным образом, на растяжение. В результате такая система обеспечивает хорошие механические характеристики и с точки зрения прочности, и с точки зрения жесткости.

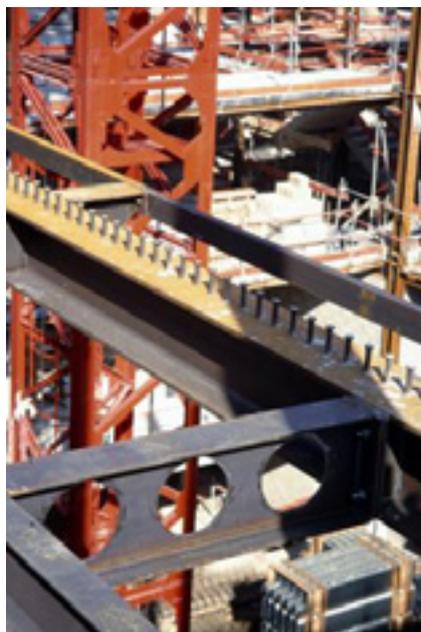


Рисунок 4.4. Композитная балка со стад-болтами, приваренными в процессе строительства

Таблица 4.2. Основные типы балок

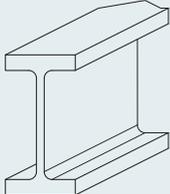
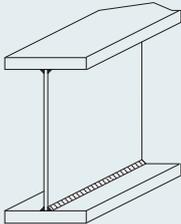
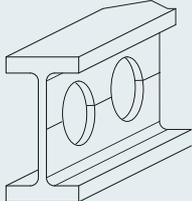
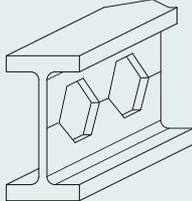
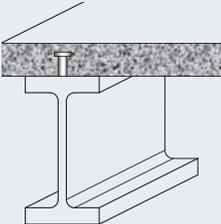
ТИП		ПОЯСНЕНИЯ
ПРОКАТНЫЕ ПРОФИЛИ		Прокатные профили широко используются в многоэтажных зданиях. Имеется большое разнообразие размеров сечений и классов стали. Простые прокатные профили применяются для малых и средних пролетов. В архитектурных целях прокатные профили могут быть изогнуты.
СВАРНЫЕ БАЛКИ		Сварные балки изготавливаются из пластин. Они могут иметь разную ширину полок, образуя поперечное сечение с одной плоскостью симметрии. Такие профили дают возможность проектировать балки переменной высоты, что позволяет оптимизировать расход материала и добиться интересного архитектурного эффекта.  Такое решение в основном используется для балок, размеры сечений которых выходят за пределы сортамента прокатных профилей.
БАЛКИ С ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ	 	Балки с перфорированной стенкой могут быть изготовлены из прокатных балок посредством газовой резки и сварки. Применение таких балок является наиболее эффективным в офисных зданиях в силу целого ряда преимуществ, таких как: увеличенный момент инерции по сравнению с обычными профилями, возможность прокладки горизонтальных коммуникаций (короба воздухопроводов и систем кондиционирования и т.д.), а также архитектурный внешний вид балок.  Обычно отверстия в балках выполняются круглыми, но возможно также выполнить отверстия гексагональной формы.
КОМПОЗИТНЫЕ БАЛКИ		При опирании плиты перекрытия на балку достаточно легко обеспечить конструктивное соединение между плитой и балкой. Стальные балки могут быть прокатными, сварными или перфорированными. Последние особенно рекомендуются для большепролетных перекрытий многоэтажных зданий (до 18–20 метров).  На сегодняшний день разработано большое количество конструктивных решений композитных балок.

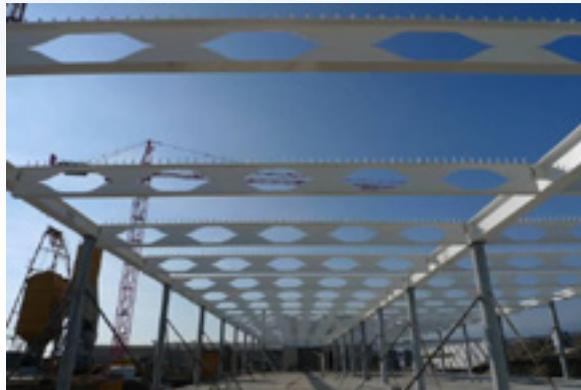
Рисунок 4.4. Композитная балка со стад-болтами, приваренными в процессе строительства (слева направо)



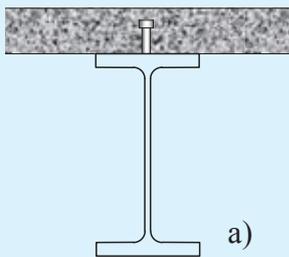
Рисунок 4.5. Композитная балка с перфорированной стенкой и стальным профнастилом



Рисунок 4.6. Новый тип балок – *Angelina™* (композитная балка) в процессе монтажа

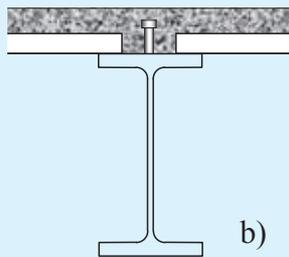


Существует несколько разновидностей композитных балок, которые показаны на рисунке 4.7. В этих примерах профиль может быть прокатным, сварным или перфорированным. Стальные профили, показанные на рисунках (а–с), являются прокатными.



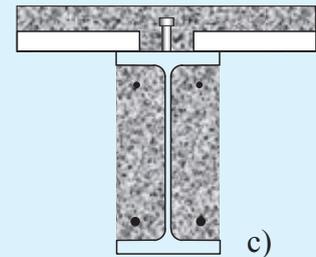
а)

Плоская плита. Такое решение предполагает устройство стандартной съемной опалубки



б)

Плита из профилированного настила используется в качестве несъемной опалубки и включается в работу балки на изгиб



с)

Балка частично обетонирована для повышения огнестойкости

Рисунок 4.7. Композитные балки

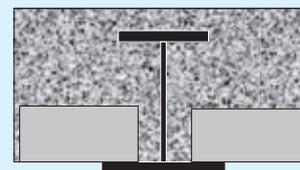
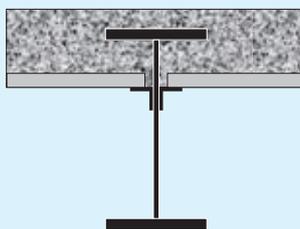
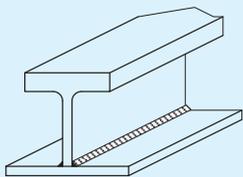
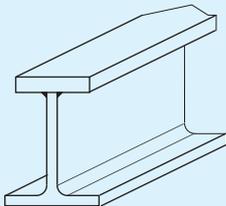


Рисунок 4.8. Замоноличенные балки (плиты перекрытий уменьшенной толщины)

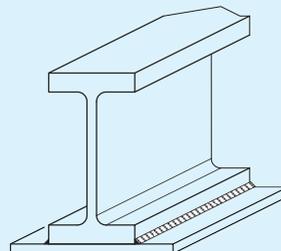
На рисунке 4.9 представлены три примера стальных балок, которые используются для замоноличивания в плиту перекрытия.



Нижняя полка представляет собой пластину, приваренную к прокатному тавровому профилю



Верхняя полка представляет собой пластину, приваренную к прокатному тавровому профилю



Пластина приварена к нижней полке прокатного профиля

Рисунок 4.9. Различные типы поперечных сечений балок, используемых для замоноличивания в плиту перекрытия

В таблице 4.3. показаны длины пролетов плит перекрытий в зависимости от их конструктивных решений.

Таблица 4.3. Размеры пролетов для различных конструктивных решений перекрытий

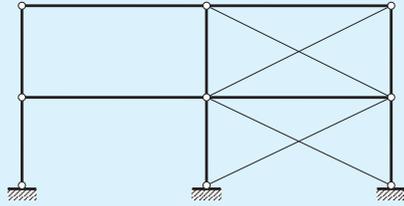
	ПРОЛЕТ (М)					
	6	8	10	13	16	20
Плоские железобетонные плиты	■					
Тонкостенные балки и толстые композитные плиты	■					
Сборные ребристые плиты	■					
Железобетонные балочные перекрытия		■				
Плоские преднапряженные плиты			■			
Композитные балочные перекрытия		■				
Балки с перфорированной стенкой			■			
Композитные балки с перфорированной стенкой			■			

## 4.2. Связи

### 4.2.1. Общие замечания

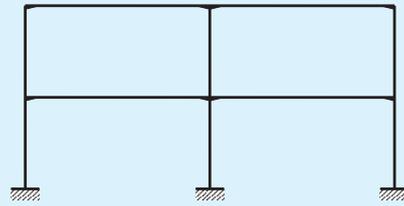
Конструкция является статически определимой, если она имеет такое количество опор, которое минимально необходимо для обеспечения ее неизменяемости. Увеличение числа опор и жестких узлов повышает жесткость конструкции, но при этом нужно учитывать, что жесткие узлы являются более дорогими в изготовлении, чем простые шарнирные соединения. Поэтому для обеспечения экономичности готовой конструкции всегда необходимо искать разумный компромисс.

На рисунке 4.10 показаны два варианта технического решения для обеспечения неизменяемости каркаса многоэтажного здания в вертикальной плоскости.



#### ШАРНИРНАЯ РАМА СО СВЯЗЯМИ

Общая неизменяемость обеспечивается диагональными связями. Узлы рамы шарнирные. Работа связей на сжатие обычно не учитывается



#### РАМА С ЖЕСТКИМИ УЗЛАМИ

Общая неизменяемость обеспечивается рамой с жесткими узлами. Такое решение приводит к более сложным и дорогим решениям узлов

Рисунок 4.10. Общая неизменяемость многоэтажного каркаса в вертикальной плоскости

Общая устойчивость здания должна быть обеспечена во всех главных плоскостях здания (вертикальной и горизонтальной) для передачи нагрузок на фундаменты, как показано на рисунке 4.11.

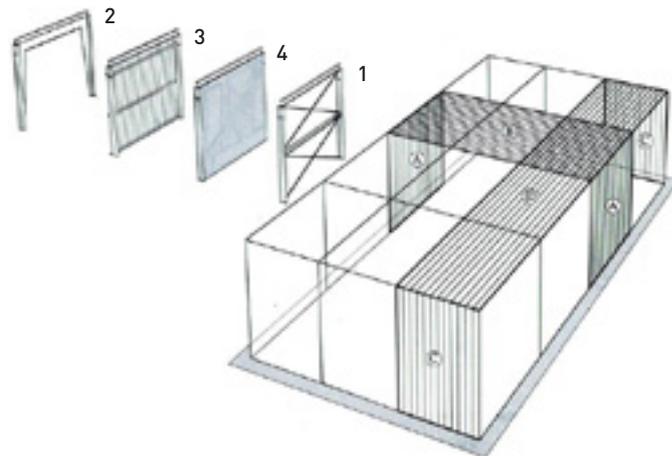


Рисунок 4.11. Плоскости жесткости прямоугольного здания

Продольная жесткость каркаса здания в вертикальной плоскости (на рисунке 4.11 – плоскости А и С) может быть обеспечена с помощью любого из четырех технических решений, а именно:

1. Шарнирная рама с диагональными связями
2. Рамная конструкция с жесткими узлами
3. Эффект диафрагм жесткости, вызванный включением ограждающих конструкций в работу основного несущего каркаса
4. Вертикальные диафрагмы в виде сплошных бетонных стен.

Продольная и поперечная жесткость каркаса здания в горизонтальной плоскости (на рисунке 4.11 – плоскости В и D) в общем случае обеспечивается либо бетонными плитами перекрытий, играющими роль горизонтальных жестких диафрагм, либо системами диагональных связей. Для передачи боковых нагрузок на фундамент система горизонтальных связей должна быть надежно соединена с системой вертикальных связей.

Ветровые нагрузки представляют собой главное горизонтальное воздействие на многоэтажное здание. В сейсмически активных районах строительства необходимо также учитывать горизонтальные воздействия, вызванные сейсмической активностью.

#### 4.2.2. Связевые конструктивные системы

Как правило, элементы многоэтажных стальных зданий проектируют с шарнирными узлами. При этом устойчивость несущего каркаса в вертикальной плоскости обеспечивается системой поперечных связей, иногда совместно с так называемым «ядром жесткости», выполненным из железобетона.

- Простота выполнения узлов
- Быстрота возведения
- Уменьшенная стоимость изготовления.

Поперечные связи могут быть расположены как внутри, так и снаружи здания, в зависимости от архитектурных предпочтений. Пример связей как средства архитектурной выразительности представлен на рисунке 4.12



Рисунок 4.12. Поперечные связи, установленные снаружи многоэтажного здания

#### 4.2.3. Рамные конструкции с жесткими узлами

Для того чтобы избежать устройства поперечных связей между балочными элементами несущего каркаса здания, возможно применение рамных конструкций с жесткими узлами.

Многоэтажные здания с несущим каркасом, состоящим из жестких рам, часто требуют увеличения сечений колонн, а, иногда, и сечений балок.

Поскольку обеспечение пространственной жесткости и устойчивости здания с помощью жестких рам является менее экономичным, по сравнению с использованием системы поперечных связей, то наиболее эффективное и сбалансированное решение может быть достигнуто в результате комбинирования этих двух систем. Например, в одном направлении возможно использование жестких рам при одновременном устройстве системы связей в перпендикулярном направлении.

Многопролетные жесткие рамы обладают следующими преимуществами:

- Главные балки являются более жесткими, что приводит к уменьшению прогибов по сравнению с шарнирно-опертыми балками
- Перекрытия в меньшей степени подвержены вибрациям
- Увеличение количества лишних связей влечет за собой увеличение надежности конструкции в целом.

Недостатки многопролетных жестких рам:

- Узлы являются более сложными в изготовлении и монтаже
- Возрастают внутренние усилия в колоннах
- Увеличивается общая стоимость конструкции.

Каркасы с многопролетными жесткими рамами в обоих направлениях используются в исключительных случаях для зданий с особыми требованиями, например, в помещениях медицинских исследовательских центров с установкой оборудования, высокочувствительного к деформациям перекрытий, вибрациям и т. д.

## 4.3. Плиты перекрытий

### 4.3.1. Общие замечания

Основная функция плит перекрытий в составе несущего каркаса здания заключается в передаче нагрузок на главные конструктивные элементы. Плиты перекрытий способствуют обеспечению общей устойчивости и пространственной неизменяемости каркаса, главным образом играя роль горизонтальных диафрагм жесткости, обеспечивающих устойчивость в плоскости каждого этажа.

Проектирование плит перекрытий должно выполняться в соответствии с определенными техническими требованиями, которые включают:

- Приложенные нагрузки
- Термоизоляционные характеристики
- Звукоизоляционные характеристики
- Огнестойкость
- Интеграцию разводки инженерных коммуникаций
- Спецификацию узлов крепления подвесного потолка.

Для плит перекрытий могут применяться следующие конструктивные решения:

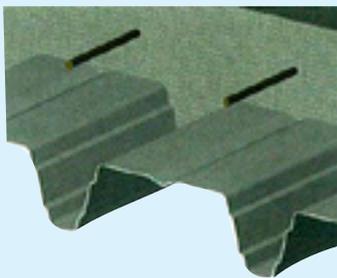
- Композитные плиты по профнастилу
- Бетонные плиты по профнастилу, служащему в качестве несъемной опалубки
- Легкие перекрытия по профнастилу
- Плоские железобетонные плиты, включая сборные плиты
- Панели перекрытий заводского изготовления.

### 4.3.2. Железобетонная плита по стальному профилированному настилу

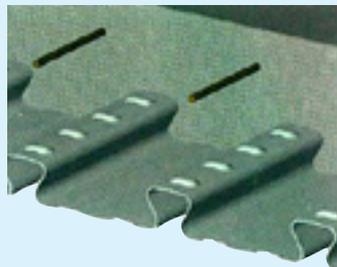
Применение профнастила имеет много преимуществ, а именно:

- Эффективная несъемная опалубка (опалубка, которую не нужно демонтировать после бетонирования)
- Профнастил проще монтировать, чем сборные плиты
- Во многих случаях можно избежать установки временных промежуточных опор (стоек переопирания) на период строительства.

Обычный профнастил эффективно служит на стадии строительства в качестве несъемной опалубки. Были разработаны специальные виды профнастила, улучшающие изгибную прочность плит перекрытий за счет работы стали на растяжение. Рельефная поверхность таких видов профнастила обеспечивает хорошее сцепление с бетоном (см. рисунок 4.13).



**НЕСЪЕМНАЯ ОПАЛУБКА**  
(некомпозитная плита по профнастилу)



**КОМПОЗИТНОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ**  
(стальной настил с рельефной поверхностью)

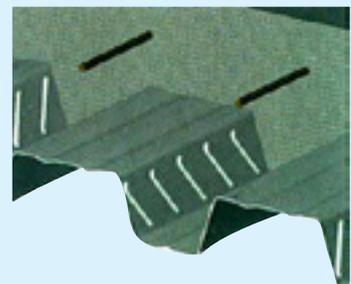


Рисунок 4.13. Профилированный настил для перекрытий

Для оптимизации работы конструкции перекрытия композитные плиты по профнастилу могут учитываться в расчетах стальных балок на изгиб, как показано на рисунке 4.14. Это позволяет уменьшить высоту стальных профилей и, как следствие, общую толщину перекрытия, собственный вес балок и т. д.

Типовые размеры листов профилированного настила:

- Длина: 6 м
- Ширина: 1 м
- Толщина листа: 0,75 или 1 мм.

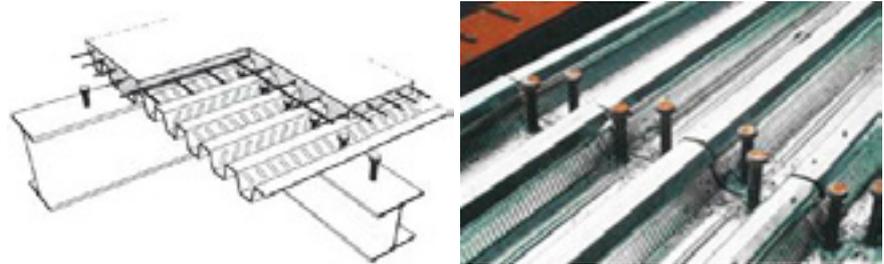


Рисунок 4.14. Композитные плиты и композитные балки

#### Огнестойкость бетонных композитных плит по профнастилу

Профилированный настил выполняет функцию арматуры. Его нижняя поверхность не требует огнезащиты. Композитные плиты могут иметь предел огнестойкости, равный 30 минутам без выполнения каких-либо дополнительных мероприятий по пожарозащите.

Более высокая огнестойкость может быть легко достигнута с помощью:

- добавления арматурных стержней в бетонные плиты;
- специальных мероприятий по огнезащите нижней поверхности профнастила;
- устройства подвесных потолков из минеральной ваты и гипсокартона.

#### 4.3.3. Сборная железобетонная плита с бетонной стяжкой

Плоские плиты обычно состоят из сборных плит с бетонной стяжкой. В процессе бетонирования может понадобиться установка стоек переопирания для восприятия собственного веса сборных плит, бетонной стяжки и рабочих.

Плита может улучшить изгибную прочность и жесткость балок при условии наличия надлежащего соединения между балкой с плитой, например, при помощи стальных болтов, привариваемых к верхнему поясу балок на строительной площадке (см. таблицу 4.3 «Композитные балки»).

#### 4.3.4. Многопустотные плиты

Сборные многопустотные плиты обычно используются совместно со встроенными в перекрытие стальными балками, которые в этом случае не являются композитными. Панели перекрытия могут устанавливаться в уголки, приваренные к стенке балки, или на свесы нижней полки (см. рисунки 4.15, 4.8 и 4.9). Рекомендуется устройство армированной стяжки для объединения отдельных панелей в единую конструкцию, которая работает как горизонтальная диафрагма.

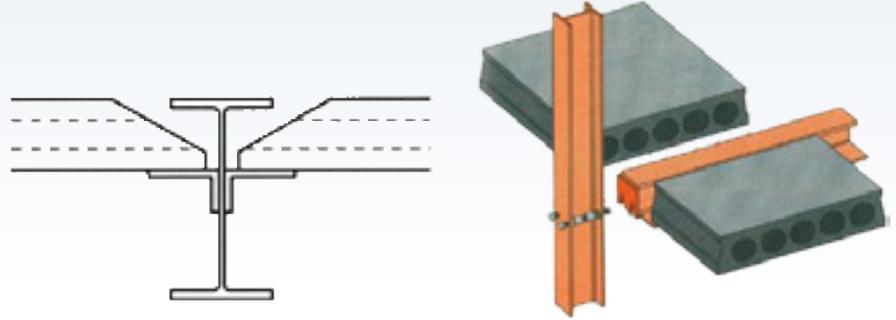
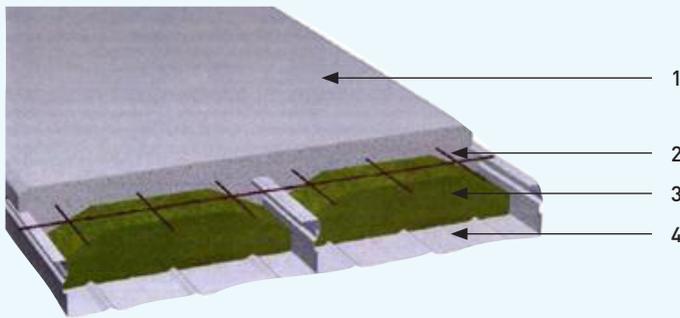


Рисунок 4.15. Многопустотные плиты

#### 4.3.5. Сборные композитные плиты

Этот тип перекрытия состоит из сборных элементов шириной 1,2 м и длиной до 7,00 м, как показано на рисунке 4.16.



- 1 — Сборная плита
- 2 — Армирующая сетка
- 3 — Тепло- и звукоизоляция
- 4 — Гнутый кассетный профиль

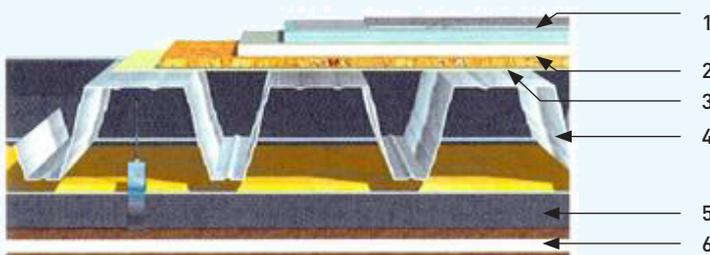
Рисунок 4.16. Сборные композитные плиты

#### 4.3.6. Легкие щитовые перекрытия по профнастилу

Легкие щитовые перекрытия собираются из отдельных компонентов заводского изготовления (см. рисунок 4.17). Главными отличительными свойствами таких перекрытий являются:

- Легкость
- Хорошая звукоизоляция
- Эффективная теплоизоляция, встроенная в конструкцию перекрытия
- Высокая скорость монтажа
- Отсутствие необходимости установки стоек переопирания на период строительства
- Удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Восприятие нагрузок обеспечивается листами профилированного настила, длина которых может варьироваться от 2 до 6 м при высоте профиля около 20 см. Горизонтальные инженерные коммуникации (кабели, трубопроводы) могут прокладываться в пределах высоты гофры профнастила. В такое перекрытие может быть встроена электрическая разводка системы отопления.



- 1 — Два слоя гипсокартона
- 2 — Деревянный настил
- 3 — Эластичный материал
- 4 — Листы профнастила
- 5 — Минераловатные плиты
- 6 — 1 или 2 слоя гипсокартона

Рисунок 4.17. Главные компоненты легких плит по профнастилу



Рисунок 4.18. Фотография легкого перекрытия по профнастилу



Рисунок 4.19. Композитные плиты с теплоизоляцией

Огнестойкость легких перекрытий по профнастилу зависит от устойчивости к огневому воздействию подвесного потолка и верхних слоев гипсокартона. Показатели огнестойкости могут быть адаптированы в соответствии с национальными стандартами или другими специальными требованиями.

#### 4.3.7. Звукоизоляционные и теплотехнические требования

Выполнение теплотехнических и звукоизоляционных требований может быть достигнуто за счет использования других материалов, которые крепятся к плитам перекрытий. Такие материалы также служат для облицовки плит.

К этим элементам относятся:

- Облицовка нижней поверхности композитной плиты гипсокартоном, количество слоев которого зависит от требований по звукоизоляции
- Минераловатные плиты, опирающиеся на гипсокартон.
- Пространство между балками под перекрытием можно использовать для разводки инженерных коммуникаций и воздуховодов.

## 4.4. Узлы

### 4.4.1. Общие замечания

Стальное строительство основано на простом принципе, включающем возведение главного несущего каркаса здания из отдельных конструктивных элементов, таких как колонны, балки, связи и затяжки, к которым затем крепятся компоненты ограждающих конструкций – перекрытия и перегородки.

Главная функция узлов заключается в передаче внутренних усилий между несущими элементами в соответствии с предусмотренной проектом шарнирной или жесткой работой конкретного узла. В тех случаях, когда узлы являются визуально открытыми, их эстетические качества могут подчеркивать характер работы конструкций и усиливать архитектурную выразительность здания.

### 4.4.2. Типы узлов и соединений

Существует множество типов узлов конструктивных несущих элементов. Главными типами узлов, используемых в многоэтажных зданиях, являются:

- Простые шарнирные узлы (балка к балке, балка к колонне)
- Жесткие узлы (балка к колонне) для неразрезных рам
- Узлы крепления связей
- Опорные базы колонн.

Рисунок 4.20 показывает три типовых узла опирания балки на колонну. Все эти узлы могут считаться шарнирными. Такие типы соединений проектируются, главным образом, для передачи поперечного усилия и небольшой продольной силы.



Рисунок 4.20. Типовой узел опирания балки на колонну

Рисунок 4.22 показывает пример жесткого узла опирания балки на колонну. Торцевая пластина приварена к балке и соединена на болтах с полкой колонны. Такой тип узла проектируется на передачу изгибающего момента и поперечной силы.

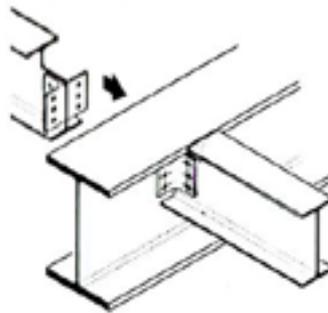


Рисунок 4.21. Типовой узел соединения балок

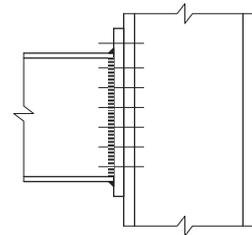
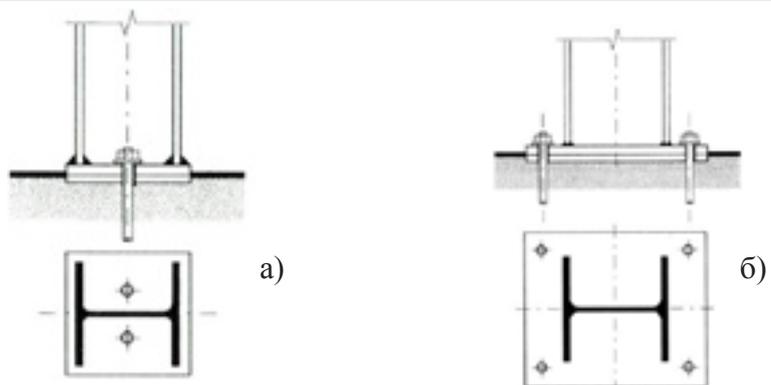


Рисунок 4.22. Жесткий узел опирания балки на колонну

В многоэтажных зданиях базы колонн обычно являются условно шарнирными, как показано на рисунке 4.23(а). На бетонный фундамент передаются значительные по величине сжимающие усилия. Как правило, поперечные силы остаются достаточно небольшими. На рисунке 4.23(б) для сравнения показана база колонны с жестким узлом опирания.

Рисунок 4.23. Базы колонн

- а) Шарнирная база колонны
- б) База колонны с жестким узлом опирания



Концы элементов связей обычно крепятся на болтах к соединительным пластинам (фасонкам), которые, в свою очередь, могут крепиться к элементам несущего каркаса (балкам и колоннам) на болтах или на сварке. Пример показан на рисунке 4.24.

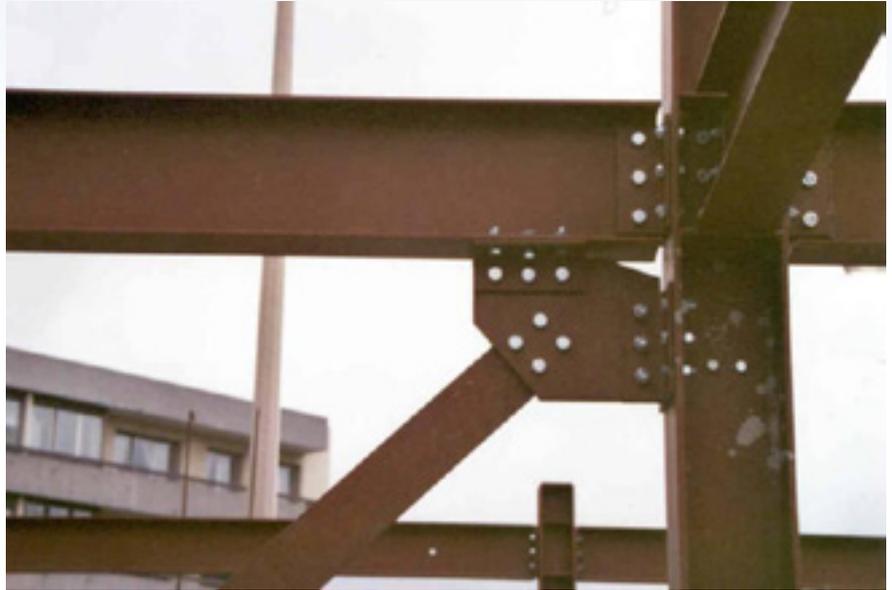


Рисунок 4.24. Типовой узел крепления элементов связей

## 4.5. Выводы

В таблице 4.4. указаны типовые нагрузки от собственного веса элементов здания.

Таблица 4.4. Размеры пролетов для различных конструктивных решений перекрытий

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАРКАСА	СОБСТВЕННЫЙ ВЕС ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Сборные плиты (пролетом 6 м под нагрузку 5 кН/м <sup>2</sup> )	от 3 до 4,5 кН/м <sup>2</sup>
Плоские плиты (толщиной 200 мм из тяжелого бетона)	5 кН/м <sup>2</sup>
Композитная плита (толщиной 130 мм из тяжелого бетона)	от 2,6 до 3,2 кН/м <sup>2</sup>
Композитная плита (толщиной 130 мм из легкого бетона)	от 2,1 до 2,5 кН/м <sup>2</sup>
Инженерные коммуникации	0,25 кН/м <sup>2</sup>
Подвесные потолки	0,1 кН/м <sup>2</sup>
Металлокаркас малоэтажных зданий (от 2 до 6 этажей)	от 35 до 50 кН/м <sup>2</sup>
Металлокаркас зданий средней этажности (от 7 до 12 этажей)	от 40 до 70 кН/м <sup>2</sup>

При проектировании многоэтажных зданий сталь дает архитектору множество преимуществ, таких как:

- Возможность устройства больших пролетов
- Легкость стальных зданий по сравнению с традиционными
- Простота и экономичность фундаментных конструкций
- Хорошая адаптируемость проектных решений для строительства на грунтах с низкой несущей способностью.

# 5 Основы эффективного проектирования: ограждающие конструкции

## 5.1. Фасады

### 5.1.1. Общие замечания

Когда принимается решение об использовании стали в качестве основного материала для строительства объекта, конструкции фасадов изготавливаются из целого ряда специальных изделий, которые должны выполнять следующие функции: обеспечение необходимой несущей способности, воздухо- и водонепроницаемости, термо- и звукоизоляции, пожаробезопасности, защиты от проникновения посторонних, и, конечно же, создание эстетичного внешнего вида здания.

Применение таких изделий для фасадных систем гарантирует высокий уровень точности и качества изготовления и, таким образом, требует определенной тщательности проектирования, особенно при детализовке узлов фасадов и креплений его различных компонентов.

Стальные элементы могут использоваться в фасадных системах в качестве опорных каркасов (легкие стальные элементы из тонкостенных профилей или вентилируемые фасады со стальными панелями), стоек для крепления облицовки, фасадных панелей и, наконец, для отделки и солнцезащиты.

Стальные детали и изделия могут быть скомбинированы с другими видами облицовки фасадов, такими как: стальные панели, камень, кирпич, терракота, древесина и стекло (см. примеры на рисунке 5.1). Эти материалы предлагают широкую палитру архитектурных решений с точки зрения внешнего вида, формы и отделки. Огромное разнообразие фасадной отделки позволяет управлять эксплуатационными характеристиками и обеспечивает эффективность проектных решений для проектов зданий любого назначения (рисунок 5.2), включая:

- Общественные здания
- Офисы
- Жилые здания и гостиницы
- Торговые здания.

*Фасады*

*Системы покрытий*



Рисунок 5.1. Типы материалов для фасадов

*Облицовка стальными панелями, г. Монтаргис, Франция*

Рисунок 5.1. Типы материалов для фасадов



Облицовка стальными панелями, г. Монтаргис, Франция



Облицовка древесиной, г. Люксембург (Люксембург)



Облицовка гранитной плиткой, г. Баньоле, Франция



Облицовка терракотовой плиткой, г. Фулхэм, Великобритания



Вид наружных несущих стен, г. Хельсинки, Финляндия

Рисунок 5.2. Фасады зданий различного назначения



Здание Европейского парламента, Франция



Культурный центр «Милленарис», г. Будапешт, Венгрия



Университет, г. Турин, Италия



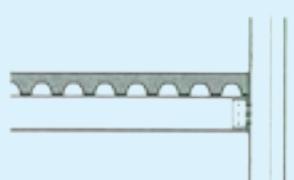
Жилое здание, г. Эвре, Франция

### 5.1.2. Расположение фасадных конструкций

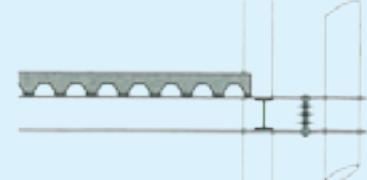
Существует три варианта расположения фасадных конструкций по отношению к конструктивным элементам несущего каркаса здания, как показано на рисунке 5.3.



**ВНЕШНИЙ ФАСАД,**  
закрывающий основные несущие конструкции: навесной фасад, стеклопанели заводского изготовления



**ДВУХСЛОЙНЫЙ ФАСАД:**  
самонесущая фасадная конструкция с наружной облицовкой и воздушным зазором



**ВНУТРЕННИЙ ФАСАД,**  
расположенный за основными несущими конструкциями: фасадные панели, встраиваемые между перекрытиями



Рисунок 5.3. Варианты расположения фасадных конструкций

Наиболее характерными свойствами этих трех вариантов являются:

- Полностью наружное расположение фасада — визуальная открытость несущих конструкций изнутри здания
  - Фасад представляет собой ряд панелей высотой в один этаж.
  - Если колонны визуальны скрыты, то при проектировании можно руководствоваться только экономичностью проектных решений.
  - В случае визуальной открытости колонн при проектировании необходимо учитывать эстетичность их внешнего вида.
  - Требования по пожаробезопасности зависят от назначения здания, существует множество технических решений, обеспечивающих выполнение этих требований (см. раздел 6.2.4).
- Двухслойный фасад: значительная толщина стеновой конструкции
  - В целом, поскольку колонны не видны, наиболее экономичное решение будет определяться только конструктивными характеристиками поперечного сечения.
  - Если расчетные размеры сечения колонн нарушают целостность облицовки фасада, то для решения этой проблемы можно уменьшить размер профиля колонны, заменив одну колонну двумя стойками с меньшим поперечным сечением.
  - Внутренняя и наружная облицовки должны быть запроектированы с учетом требований по защите от пожара.
- Внутренний фасад: визуальная открытость несущих конструкций каркаса снаружи здания
  - Необходимо тщательно проанализировать узлы крепления фасадных балок к несущим конструкциям каркаса здания с точки зрения обеспечения выполнения требований по прочности, термоизоляции и пожарозащите.
  - В каждом конкретном случае возможно разработать специальные технические решения этих узлов.

### 5.1.3. Принципы строительства

Для большинства строительных элементов легких фасадных конструкций торец перекрытия определяет линию фасада. Образованная таким образом вертикальная плоскость служит для установки элементов крепления фасада, а также деталей и изделий, обеспечивающих уменьшение мостиков холода и пожарозащиту отдельных этажей.

С внешней стороны линии фасада располагаются опорные несущие элементы наружной облицовки (каркас фахверка, крепежные пластины и т. д.), которые устанавливаются вертикально или иногда горизонтально. Затем укладывается основной слой теплоизоляции. Элементы наружной облицовки крепятся к элементам каркаса с помощью специальных крепежных деталей (направляющих, скоб, прижимных планок и т. д.). Наружная облицовка может изготавливаться в виде панелей с теплоизоляцией (см. рисунок 5.4).

С внутренней стороны фасадных стен обычно устраиваются двухслойные перегородки, состоящие из нескольких слоев гипсокартона (обычно 1—3 слоя), которые крепятся к стальному каркасу из тонкостенных профилей. Между вертикальными стойками обычно устраивается дополнительный слой теплоизоляции (см. рисунок 5.5).



Рисунок 5.4. Фасады

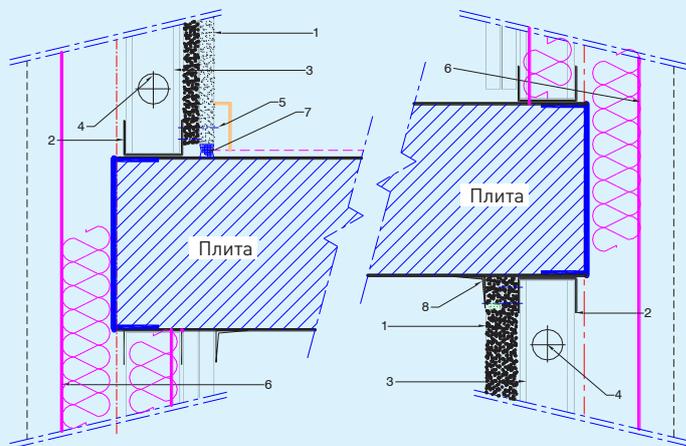


Рисунок 5.5. Теплоизоляция

Такие легкие ограждающие конструкции часто содержат воздушный зазор для вентиляции между сплошным изоляционным слоем, установленным непосредственно перед краем перекрытия и внутренней стороной облицовки фасада.

Такая конструкция способствует обеспечению хороших теплотехнических и гидроизоляционных характеристик ограждающих конструкций и облегчает установку отдельных элементов отделки. Однако для предотвращения попадания влаги в слой наружной изоляции очень важно предусмотреть установку дождевого экрана.

Если облицовочный слой фасада является водонепроницаемым, то устройство воздушного зазора не представляется возможным, и, следовательно, такая фасадная система не будет вентилируемой.



## НИЖНИЙ УЗЕЛ ОГРАЖДАЮЩЕЙ СТЕНЫ

A – Плита перекрытия	1 – Гипсокартон
B – Ось каркаса	2 – Тонкостенный ригель
C – Воздушный зазор	3 – Тонкостенная стойка
D – Внутренняя поверхность облицовки	4 – Отверстие для коммуникаций

## ВЕРХНИЙ УЗЕЛ ОГРАЖДАЮЩЕЙ СТЕНЫ

5 – Крепежный болт
6 – Два слоя теплоизоляции
7 – Воздушная прокладка
8 – Упругая герметизирующая прокладка

Рисунок 5.6. Ограждающие стены

## 5.1.4. Элементы тепло- и звукоизоляции

Благодаря наличию двух слоев изоляции существует возможность варьировать толщину и тип утеплителя (минеральная вата, полиуретан, ячеистое стекло) и таким образом существенно снизить теплоотдачу фасадных конструкций. Проблема прямых теплотерь через мостики холода должна решаться посредством устройства специальных узлов между металлическими элементами и деталями, соприкасающимися с наружным воздухом и с внутренним пространством здания.

Звукоизоляционные характеристики также зависят от конструкции фасадов, деталей крепления внешней отделки и плотности изоляционного слоя. Для повышения уровня комфорта материалы внутренней облицовки могут также состоять из перфорированных стальных листов (см. рисунок 5.4), позволяющих внутреннему минераловатному утеплителю фасадных стен способствовать улучшению звукоизоляционных характеристик посредством поглощения атмосферного шума при высоком уровне звукового давления.

Легкие фасадные системы с применением стальных конструкций идеально подходят как для нового строительства, так и для реконструкции существующих зданий, особенно в случаях надстройки дополнительных этажей.

Технологический университет,  
г. Жешув (Польша)

Жилое здание (Дания)

Рисунок 5.7. Реконструкция и надстройка этажей

Таблица 5.1. Сравнение собственного веса фасадов и перегородок

ТИП ФАСАДА	ВЕС (кг/м <sup>2</sup> )
<b>ТЯЖЕЛЫЙ ФАСАД</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Несущая стена толщиной 18 см</li> <li>• Наружная изоляция толщиной 8 см</li> <li>• Облицовка терракотовой или гранитной плиткой толщиной от 20 до 50 см</li> </ul>	80–100 (не включая стену)
<b>ЛЕГКИЙ ФАСАД</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Несущая стена толщиной 18 см</li> <li>• Наружная изоляция толщиной 8 см</li> <li>• Облицовка терракотовой или гранитной плиткой толщиной от 20 до 50 см</li> <li>• Наружная облицовка – стальные листы</li> </ul>	30–50
<b>БЕТОННАЯ СТЕНА ТОЛЩИНОЙ 20 СМ</b>	500
<b>ДВА КОЛОННЫХ ДВУТАВРА ВЫСОТОЙ 20 СМ</b> <b>БАЛКА ИЗ УЗКОПОЛОЧНОГО ДВУТАВРА ВЫСОТОЙ 27 СМ</b> <b>ЛЕГКИЕ ПЕРЕГОРОДКИ ТОЛЩИНОЙ 20 СМ</b>	30–50 в зависимости от функционального назначения помещения

## 5.2. Системы покрытий

### 5.2.1. Общие замечания

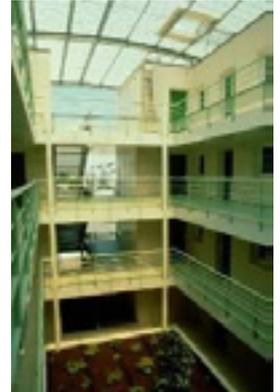
Стальные каркасы совместимы с любыми типами покрытий – от водонаполненных покрытий до плоских или арочных крыш, а также светонепроницаемых или покрытий с остеклением.



Здание студенческого центра, г. Аахен



Магазин «Стоун», г. Баньоле



Покрытие с остеклением

Рисунок 5.8. Покрытия



Рисунок 5.8. Покрытия. Крыша административного здания, г. Люксембург



Скатная крыша на строительной площадке

Ограждающие конструкции здания должны отвечать множеству различных требований, как показано на рисунке 5.9.

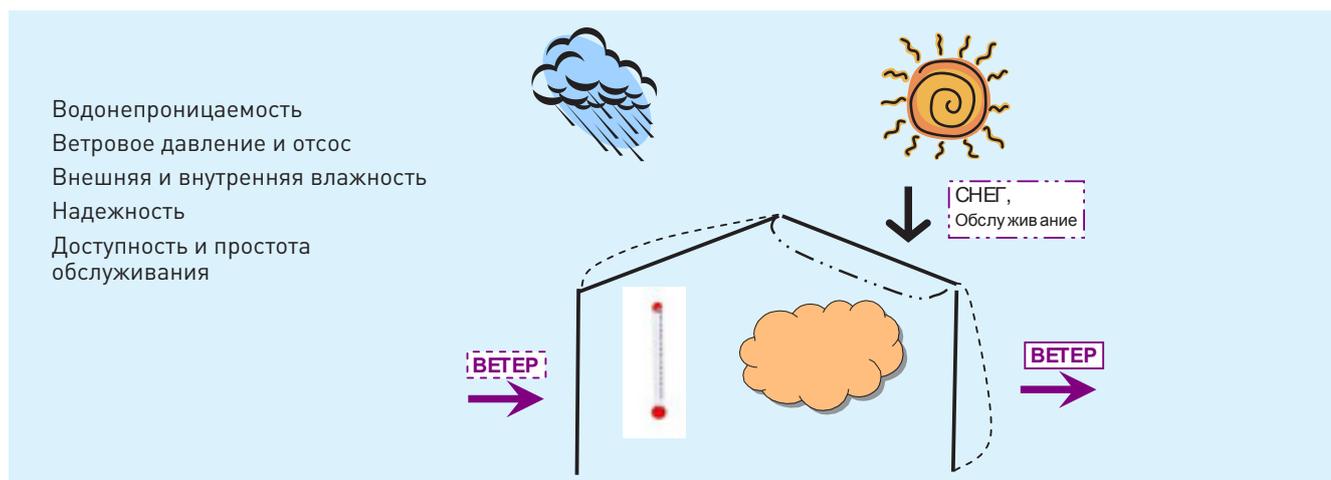


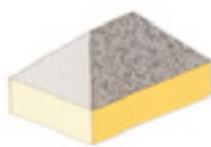
Рисунок 5.9. Требования к ограждающим конструкциям здания



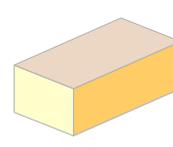
Многоскатная крыша с фронтонами



Пересечение вальмовой крыши с двускатной фронтоной



Четырехскатная (вальмовая) крыша



Плоская крыша

Рисунок 5.10. Покрытия

Для покрытий с небольшими уклонами наиболее важными элементами стальной конструкции являются качество крепежных узлов и расположение водосборных лотков (рисунок 5.11).

### 5.2.2. Плоские покрытия

Плоские покрытия по поверхности основных несущих конструкций могут быть устроены из легких панелей, металлических профилированных листов или устройством бетонной стяжки по сборному железобетонному настилу (см. рисунок 5.12).

Поверх плиты покрытия укладываются пароизоляция, утеплитель и гидроизоляция с защитной стяжкой или без нее. Для устройства парапета, защищающего стены от попадающей на покрытие дождевой воды, возможно использовать металлоконструкции фасада, высота которых может быть увеличена до необходимой отметки.

### 5.2.3. Скатные покрытия

В случае скатных покрытий с небольшим уклоном (от 3 до 7%) гидроизоляция также выполняется с помощью битумных материалов или ПВХ-мембран. Слои гидроизоляции укладываются непосредственно на оцинкованные стальные листы покрытия. Такая технология отличается простотой исполнения и экономичностью для неэксплуатируемых кровель. Необходимая звукоизоляция может быть достигнута с помощью варьирования толщины изоляционных материалов и последовательности их укладки.

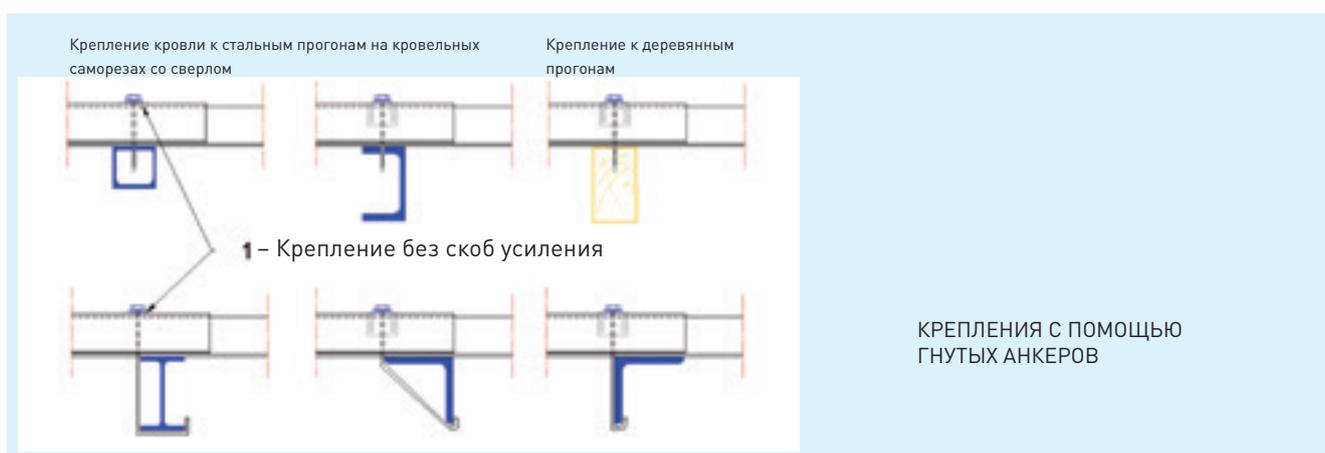


Рисунок 5.11. Типы креплений

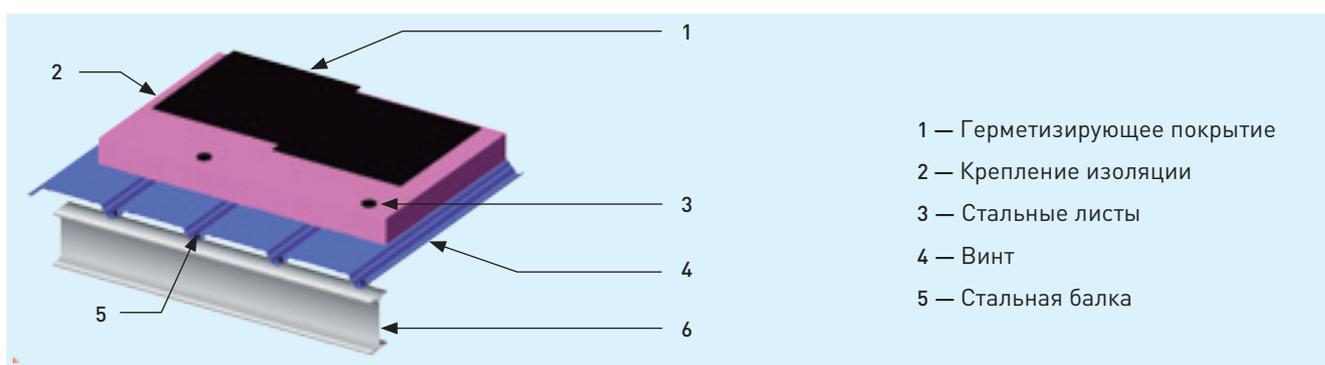


Рисунок 5.12. Типовое решение плоской кровли



Рисунок 5.13. Узел сопряжения фасада и кровли – вид в процессе строительства

#### 5.2.4. Острроверхие или арочные покрытия

Монтаж стальных листов внахлестку более или менее в соответствии с уклоном покрытия и его несущих элементов позволяет добиться эффективной водонепроницаемости таких кровель. Обычно укладка слоев кровли выполняется таким образом, чтобы исключить появление воздушных зазоров.



Рисунок 5.14. Криволинейные покрытия

#### 5.2.5. Конструкция покрытий

Типовая конструкция покрытия включает (снаружи вовнутрь):

- Кровельные стальные листы, уложенные перпендикулярно панелям обрешетки или прогонам
- Первый слой изоляции из плотного войлока с наклеенной с внутренней стороны пароизоляции, уложенный между кровельными листами и панелями обрешетки (или прогонами)
- Второй более толстый слой минеральной ваты
- Стальной каркас, на который крепятся опорные элементы внутренней облицовки
- Второй слой пароизоляции
- Внутренняя облицовка, состоящая из одного или двух слоев гипсокартона, закрепленного на винтах к стальным опорным элементам. В некоторых случаях внутренняя облицовка может представлять собой профнастил или перфорированные стальные листы
- Для уменьшения дождевого шума особенно эффективно применение специальной звукоизоляции.

Для защиты кровель от перегрева на них могут устанавливаться специальные кровельные сетки с различными размерами ячеек. В некоторых случаях сетчатые тенты придают зданию дополнительную архитектурную выразительность.

Оцинкованный стальной настил с полимерным покрытием или без него, а также листы из нержавеющей стали особенно хорошо подходят для арочных покрытий (см. рисунок 5.15). Ребра жесткости улучшают изгибную прочность такой конструкции.

Наружные панели опираются на прогоны, характеристики которых зависят от пролетов и приложенных нагрузок. Узлы крепления выполняются в местах расположения ребер жесткости с устройством гидроизоляционных шпонок.



Рисунок 5.15. Арочное покрытие с оцинкованными стальными листами

### 5.2.6. Системы возобновляемой энергии

Покрытия могут быть спроектированы таким образом, чтобы предусматривать устройство различных систем возобновляемой энергии, таких как, например, панели солнечных батарей. Рисунок 5.16 иллюстрирует установку панелей солнечных батарей на покрытии жилого здания.

На рисунке 5.17 показаны ветровые турбины с вертикальной осью вращения, установленные на плоском покрытии.

Рисунок 5.16. Солнечные батареи, установленные на покрытии  
© SYSTAIC



Рисунок 5.17. Система малых ветровых турбин с вертикальной осью на плоском покрытии  
[www.innoenergie.com](http://www.innoenergie.com)



## 6 Прочие составляющие эффективного проектирования

В дополнение к преимуществам, описанным в предыдущих разделах, которые были посвящены техническим характеристикам и инженерным вопросам, сталь позволяет достичь:

- Уменьшения собственного веса конструкций
- Оптимального использования внутреннего пространства здания и максимальной эффективности инвестиций
- Чистоту и высокую технологичность производства работ на площадке строительства.

Значительный опыт в проектировании стальных зданий и надлежащий выбор строительных материалов означает, что могут быть удовлетворены все основные проектные критерии в соответствии с требованиями технических нормативов или по запросу заказчика. К таким критериям относятся:

- Сейсмоустойчивость
- Огнестойкость
- Звукоизоляция
- Теплоизоляция
- Экологичность и рациональное использование природных ресурсов
- Интеграция с инженерными системами здания.

### 6.1. Сейсмоустойчивость

Металлоконструкции являются наиболее подходящими для строительства в сейсмоопасных районах. Это обусловлено в основном уменьшенной массой здания, а также высокой пластичностью стали, вследствие которой происходит значительная диссипация (рассеивание) энергии.

Хорошие характеристики сейсмоустойчивости стальных конструкций доказываются тем фактом, что разрушение стальных зданий вследствие землетрясений в любой части мира происходит очень редко. Самый недавний анализ последствий наиболее значительного землетрясения в Европе подтверждает этот факт. 6 апреля 2009 года землетрясение мощностью 6,3 балла по шкале Рихтера произошло вблизи города Л'Аквила, расположенного примерно в 90 километрах к северо-востоку от Рима. Здания со стальным каркасом, попавшие в зону землетрясения, в основном представляли собой промышленные или торговые объекты, находящиеся за пределами городов. Эти здания пострадали очень незначительно. Все мелкие повреждения, которые были зафиксированы, не оказали влияния

на конструктивную целостность, и поэтому функционирование зданий быстро возобновилось. На фотографиях, сделанных на следующий день после землетрясения, показан торговый центр в Аквилоне.

Стоит отметить, что центр по ликвидации последствий чрезвычайной ситуации был размещен в спортивном зале города Л'Аквила. Это стальное здание, состоящее из колонн и стержневого структурного покрытия и обладающее огромным внутренним пространством, оказалось пригодным для дальнейшей эксплуатации, несмотря на множество повторных сейсмических толчков, последовавших за основным землетрясением и продолжавшихся в течение нескольких недель. Представители итальянского правительства полностью убедились в сейсмоустойчивости такого типа зданий.



Сейсмоустойчивость

Пожаробезопасность

Звукоизоляция

Теплоизоляция

Долговечность стальных конструкций

Интеграция инженерных коммуникаций

Рисунок 6.1. Торговый центр в Аквилоне

## 6.2. Пожаробезопасность

### 6.2.1. Общие замечания

Технические требования к поведению конструкций во время пожара определяются национальными стандартами. Эти требования зависят от назначения здания, его размеров, доступности и последствий в случае обрушения.

Целями и задачами технического регулирования пожарной безопасности являются:

- Обеспечение работоспособности конструктивных элементов несущего каркаса в течение определенного периода времени
- Ограничение возникновения и распространения огня и дыма
- Облегчение спасательных операций
- Обеспечение безопасной и быстрой эвакуации находящихся в здании людей
- Ограничение распространения огня на соседние здания.

Для достижения этих целей техническое регулирование предъявляет различные виды требований, а именно:

- Требования, касающиеся материалов и их взаимодействия с огнем
- Требования к элементам зданий (несущим и ненесущим конструкциям): огнестойкость, усиленная пассивной противопожарной защитой
- Требования, связанные с расположением эвакуационных выходов и мерами по активной противопожарной защите.

Абсолютно необходимо, чтобы все эти требования принимались во внимание на самых ранних стадиях проектирования. Несвоевременный учет требований по пожаробезопасности при принятии проектных решений может вылиться в значительное увеличение стоимости и даже поставить под вопрос весь выполненный проект.

### 6.2.2. Реакция на пожар

Некоторые материалы могут ускорять развитие и распространение огня. В таблице 6.1 приведена европейская классификация материалов при их взаимодействии с огнем. Сталь, являясь негорючим материалом, относится к классу А1.

Таблица 6.1. Европейская классификация строительных материалов

КЛАСС		КОММЕНТАРИИ
A1	Негорючие	Не способствуют горению даже при очень сильном пожаре. Должны по умолчанию удовлетворять всем менее жестким требованиям к низшим классам материалов
A2	Негорючие и умеренно горючие	Класс В+ несколько способствуют горению в условиях сильного пожара
B	Горючие	Класс С с более строгими критериями
C	Горючие	Класс D с более строгими критериями
D	Горючие	Материалы, сопротивляющиеся возгоранию при небольшом пламени в течение более длительного времени. Могут противостоять возгоранию от отдельного горящего объекта в течение некоторого времени и выделяют ограниченное количество тепла
E	Горючие	Материалы могут сопротивляться воздействию небольшого пламени без значительного его распространения
F	Горючие	Критерии огнестойкости не нормируются

Европейская система дает дополнительные виды классификации, как показано в таблице 6.2.

Таблица 6.2. Европейская классификация строительных материалов. Дополнительные классы материалов

ДЫМООБРАЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ		ОБРАЗОВАНИЕ КАПЕЛЬ РАСПЛАВА ИЛИ ОТХОДОВ	
S1	С низкой дымообразующей способностью	d0	Отсутствие капель расплава
S2	Со средней дымообразующей способностью	d1	Отсутствие капель расплава в течение более 10 секунд
S3	Не нормируется	d2	Капли расплава с периодичностью более 10 секунд

**6.2.3. Огнестойкость**

Огнестойкость – это способность элементов здания продолжать выполнять свои функции в условиях пожара.

Огнестойкость элементов зданий определяется в соответствии с:

- Стандартными критериями (см. таблицу 6.3)
- Степенью огнестойкости (промежутком времени, выраженным в минутах, от начала огневого воздействия до достижения одного из предельных состояний).

Огнестойкость характеризует работу отдельных элементов здания во время пожара. Нормативные требования пожарной безопасности строительных конструкций определяют пределы огнестойкости и время (мин.) достижения одного или последовательно нескольких предельных состояний:

Таблица 6.3. Европейская классификация строительных материалов. Дополнительные классы материалов

КРИТЕРИИ	ОПРЕДЕЛЕНИЕ
R	<b>Предел несущей способности:</b> сохранение несущей способности под воздействием вызванных пожаром высоких температур
E	<b>Предел целостности:</b> предотвращение распространения огня и горячих газов
I	<b>Предел теплоизолирующей способности:</b> препятствование увеличению температуры на необогреваемой поверхности конструкции
W	<b>Предельная плотность теплового потока:</b> предотвращение излучения теплового потока плотностью выше 15 МВт/м <sup>2</sup>

Классификация строительных конструкций основана на пределах огнестойкости R, RE, E, REI или EI, после которых обозначен промежуток времени в минутах – 15, 30, 60, 90, 120 и т.д.

В таблице 6.4 представлены дополнительные пределы огнестойкости, а также специальные нормативные требования, предъявляемые к противопожарным устройствам и оборудованию.

Таблица 6.4. Дополнительные и специальные критерии огнестойкости

КРИТЕРИИ	ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ
S	<b>Дымогазонепроницаемость для холодного дыма:</b> Предотвращение распространения дыма во время пожара, даже сравнительно холодной температуры
C	<b>Автоматическое отключение:</b> Противопожарные двери, ставни и завесы должны закрываться автоматически
M	<b>Ударостойкость:</b> Вертикальные противопожарные преграды должны выдерживать горизонтальное ударное воздействие
КРИТЕРИИ	СПЕЦИАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ
B <sub>0</sub>	<b>Воздуховоды системы дымоудаления (30 минут):</b> Удаление горячих газов в течение первых 30 минут пожара
D	<b>Противопожарные преграды (30 минут):</b> Предотвращение распространения горячих газов и дыма в течение первых 30 минут пожара
F <sub>q</sub>	<b>Фонари дымоудаления (30 минут):</b> Удаление горячих газов и дыма в течение первых 30 минут пожара

Для определения, обоснования или подтверждения характеристик пожаробезопасности строительных конструкций или изделий необходимо проведение соответствующих испытаний или расчетов. Методы, условия и порядок проведения испытаний определяются специальными стандартами в зависимости от особенностей работы конструкций.

Расчеты должны основываться на общепринятых подходах (увеличение температуры во времени является константой) или на новых подходах к пожаробезопасности, введенных Еврокодами благодаря усовершенствованию базы знаний о поведении и развитии пожара.

#### 6.2.4. Пассивные меры огнезащиты

Прочность и жесткость стали уменьшается с увеличением температуры так же, как это происходит и с другими материалами.

Стандартная огнестойкость стальных сечений, незащищенных от пожара, редко превышает 30 минут при нормальном уровне нагружения.

Поэтому для обеспечения требуемой огнестойкости используются пассивные методы защиты от пожара, позволяющие замедлить процесс увеличения температуры стальных конструкций.

Существует множество систем защиты от пожара, перечисленных ниже. Все эти системы обеспечивают необходимый уровень пожарозащиты стальных конструкций, независимо от назначения здания. Также существуют комплексные системы пожарозащиты.

##### Противопожарные преграды

Противопожарные преграды предназначены для ограничения распространения пожара путем изоляции строительных конструкций с помощью огнезащитных конструкций, образующих сплошную стену. Вертикальными противопожарными преградами служат стены или перегородки, а горизонтальными – подвесные потолки. Все используемые материалы и изделия должны быть протестированы на огнестойкость.

Противопожарные преграды могут служить также для звуко- и теплоизоляции, а также в качестве средств архитектурной выразительности. Материалы для устройства противопожарных преград должны назначаться с учетом их огнезащитных характеристик.

##### Напыляемые огнезащитные составы

Это наиболее широко распространенный способ огнезащиты строительных конструкций, для которого применяются два основных типа материалов — тонкослойные и толстослойные покрытия.

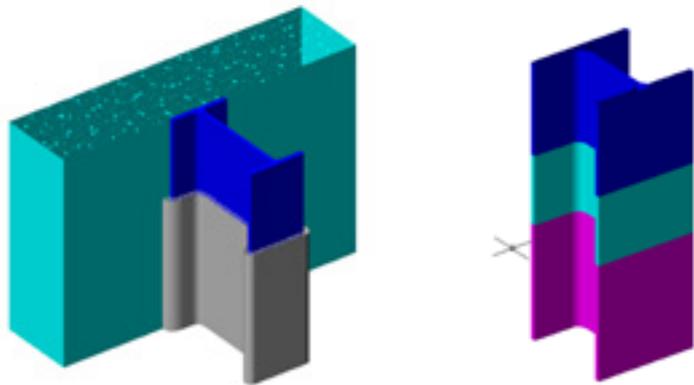


Рисунок 6.2. Огнезащита

В случае толстослойных покрытий, напыляемые волокнистые или пастообразные составы могут состоять из минеральных волокон, вермикулита, шлака или гипса вместе с каким-либо вяжущим материалом. Напыление производится с помощью специального оборудования в условиях повышенной влажности. При необходимости возможно нанесение нескольких слоев покрытия, что приводит к увеличению времени затвердевания огнезащитного состава.

Предел огнестойкости защищаемых конструкций может составлять до 4 часов (R240).

Так называемые вспучивающиеся тонкослойные покрытия отличаются способностью увеличения толщины под воздействием тепла. В холодном состоянии толщина такого покрытия составляет от 0,5 до 4 мм. При нагревании до температуры от 100

до 200 °С покрытие начинает вспучиваться и превращается в пену, достигая толщины от 30 до 40 мм, которая и защищает элементы стальных конструкций. Нанесение таких лакокрасочных покрытий должно выполняться очень тщательно посредством напыления или с помощью кисти с тем, чтобы обеспечить равномерную огнезащиту.

Сохранение эстетичного внешнего вида стальных конструкций является главным преимуществом такого типа огнезащиты, предел которой может составлять до 120 минут.

#### Огнезащитная облицовка

Огнезащитная облицовка осуществляется путем обшивки элементов стальных конструкций, которая выполняется с помощью механических креплений (винтов, скоб) или клея. Облицовочные материалы могут состоять из гипса, вермикулита, минеральных волокон или известково-силикатных составов.

Прохождение горячих газов сквозь узлы обшивки представляет собой значительный риск, поэтому такое решение должно применяться с большой осторожностью. Предел огнестойкости защищаемых конструкций может достигать R120.

#### Композитные сталежелезобетонные конструкции

В композитных конструкциях комбинирование свойств стали и бетона помогает улучшить работу стали при низких температурах, а также увеличить огнестойкость.

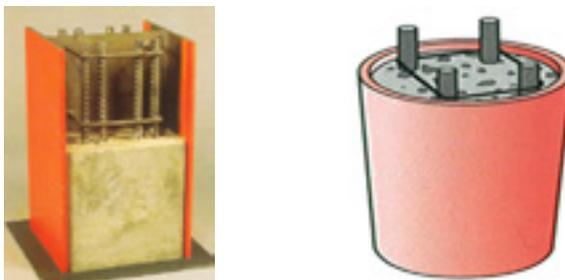


Рисунок 6.3. Композитные конструкции

В колоннах из узкополочных и широкополочных колонных двутавров композитные сечения могут иметь сплошную бетонную оболочку либо бетонное заполнение между стенкой и полками стального профиля, как показано на рисунке 6.3.

В трубобетонных колоннах композитное сечение образуется заполнением стальной трубы бетоном.

Вес колонн значительно возрастает, но предел огнестойкости может достигать R180. Сталежелезобетонные конструкции также являются очень эффективными для значительного увеличения огнестойкости балок перекрытий.

#### Размещение конструкций за пределами фасада здания

Строительные конструкции, расположенные снаружи здания, подвержены только воздействию языков пламени, вырывающихся из отверстий и проемов, и от горячих частей здания. Контакт с наружным воздухом также способствует охлаждению.

Размещение конструкций за пределами контура здания помогает избежать необходимости выполнения мероприятий по огнезащите строительных конструкций.

#### 6.2.5. Активные методы защиты от пожара

Методы пожарозащиты называются «активными» в тех случаях, когда предусматривается использование специальных устройств (датчики дыма, пожарная сигнализация, принудительное дымоудаление, спринклеры) либо когда для предотвращения возникновения пожара необходимо человеческое вмешательство.



Рисунок 6.4. Активные методы защиты от пожара

Главная цель — ограничить распространение пожара для того, чтобы дать людям возможность как можно быстрее эвакуироваться из здания и максимально облегчить проведение спасательных мероприятий.

**Системы пожарной сигнализации**  
 Системы пожарной сигнализации состоят из датчиков различного типа, которые отличаются принципом действия (максимальные, скоростные, дифференциальные), отслеживаемым параметром (дым, пламя, тепло, газ) и локализацией (точечные или линейные).

Таблица 6.5. Дополнительные и специальные критерии огнестойкости

ДАТЧИКИ	ФУНКЦИЯ	ЗОНЫ УСТАНОВКИ
Ионизационный датчик	Сравнение воздуха внутри помещения с наружным воздухом	Офисы, коммуникационные коридоры
Дымовой датчик	Ослабление или рассеивание света сквозь дым	Компьютерные залы или помещения, предрасположенные к задымлению
Датчик пламени	Оптические системы, чувствительные к инфракрасному или ультрафиолетовому излучению	Зоны складирования горючих материалов или технические помещения трансформаторных подстанций или электрощитовых
Тепловой датчик	Чувствительность к теплу	Помещения с горячими процессами (в сочетании с другими формами защиты)
Датчик скорости изменения температуры	Чувствительность к быстрому увеличению температуры	Помещения с горячими процессами (установка возле источников тепла)

Существуют также автоматические системы пожарной сигнализации и пожаротушения. После определения отслеживаемого параметра, связанного с пожаром, в действие приводится один или более датчиков пожаротушения с целью активации специального оборудования: огнезащитных дверей, системы дымоудаления и т. д.

### Системы пожаротушения и дымоудаления

Системы пожаротушения, обычно применяемые в складских помещениях, создают слой пены, действие которой заключается в уменьшении поступления кислорода и/или в охлаждении помещения.

Автоматические водяные спринклерные системы пожаротушения обычно комплектуются термочувствительными спринклерными головками, реагирующими на возгорание.

Газовые огнетушители, использующие углекислый газ CO<sub>2</sub>, газ хладон 227ea (европейское название FM200), «сухую воду» фторкетон ФК-5-1-12 (европейское название Noves 1230) или другие газы, основаны на принципе уменьшения количества углекислого газа в зоне возгорания. Такое оборудование часто используется в компьютерных залах, чистых помещениях, лабораториях, больницах, театрах и т. д.

Фонари дымоудаления предназначены для отвода дыма и горячих газов, возникающих во время пожара, чтобы обеспечить возможность эвакуации людей, а также ограничить возрастание температуры в помещениях. Размещаемые на крыше или на фасадах здания фонари дымоудаления выполняются в виде отверстий различной формы с одинарными или двойными открывающимися створками с нанесением полос тонкослойных вспучивающихся покрытий. Створки могут открываться вручную с помощью ручного винтового рычага со снимающейся ручкой или с использованием автоматических систем пожаротушения.



Рисунок 6.5. Фонарь дымоудаления

### 6.2.6. Прочие требования

Национальным регулированием также определяется ряд требований, таких как:

- Количество и размеры эвакуационных выходов и коридоров, необходимых для облегчения эвакуации находящихся в здании людей
- Меры по защите людей и имущества при пожаре (локализация пожара, ограничение распространения дыма и дымоудаление, эвакуационные выходы и маршруты эвакуации, обеспечение работоспособности строительных конструкций в течение времени, необходимого для полной эвакуации людей из здания)
- Способы реагирования и действия аварийных служб при пожаре (обеспечение доступа в здание, нормативы безопасности, обучение персонала).

## 6.3. Звукоизоляция

### 6.3.1. Общие замечания

Технические требования к обеспечению приемлемого уровня акустического комфорта определяются национальными стандартами в зависимости от назначения здания.

Находящиеся в здании люди должны быть защищены от шумов различного происхождения:

- Воздушных шумов, связанных с воздушными звуковыми колебаниями.
- К таким шумам относятся звуки голосов, т. е. внутренние воздушные шумы, а также наружные воздушные шумы, вызванные, например, движением транспорта на дорогах.
- Структурных шумов, возникающих в результате ударных воздействий и вибраций строительных конструкций. Это звуки шагов, падающих объектов, ударов.
- Технологических шумов, вызванных работой санитарно-технического оборудования зданий. В этом случае звуковые колебания передаются по трубопроводам инженерных систем здания через циркулирующие в них воздушные и жидкие среды. Это звуки систем вентиляции, отопления, водоснабжения и водоотведения, а также санитарных устройств.

Передача наружного шума в помещение, расположенное внутри здания, или из одного помещения в другое происходит в результате вибраций.

- Прямая передача шума – через разделительный элемент (стену или

перегородку) между помещениями источника и приема шума.

- Косвенная (боковая) передача шума – через примыкающие к разделительной перегородке элементы.
- Локальная передача шума – через отверстия и дефекты в разделительном элементе (места установки воздухозаборных решеток, прохождения воздухопроводов или в результате наличия строительных дефектов).

Звукоизоляционные свойства ограждающей конструкции основаны на ее способности сопротивляться передаче звука с одной стороны на другую. Для измерения звукоизолирующей способности разделительного элемента используется индекс изоляции воздушного шума (коэффициент звукопоглощения), выраженный в децибелах (дБ).

Минимальное значение индекса звукопоглощения устанавливается техническими нормативами в зависимости от функционального назначения здания и изолируемых помещений, а также источников шума – воздушных, ударных и технологических.

Необходимо заметить, что обеспечиваемое стеной звукопоглощение в реальности всегда ниже, чем индекс, измеренный в лабораторных условиях, в силу наличия косвенной и локальной передачи шумов.

Акустические свойства стены могут быть описаны при помощи модели связанных пружинной масс и закона связанной пружинами системы масс:

- Индекс звукопоглощения возрастает с увеличением поверхностной плотности стены
- В случае двухслойных стен (две сэндвич-панели) звукопоглощение зависит от:
  - Массы на квадратный метр каждой из панелей
  - Толщины воздушной прослойки между панелями
  - Толщины звукопоглощающего материала
  - Критической частоты собственных колебаний каждой из панелей.

Индекс звукопоглощения двухслойных стен гораздо выше, чем индекс одинарной стены с той же самой поверхностной плотностью. (Звук, исходящий из одного помещения и распространяющийся горизонтально и вертикально в направлении другого помещения, проходит через первую стеновую панель, что вызывает первое звукопоглощение. Затем звук оказывается «пойман» в воздушный зазор, где он отражается от поверхности второй стеновой панели и поглощается звукоизоляционным слоем перед прохождением через вторую стеновую панель).

Акустические качества стального здания зависят от конструкции и состава различных ограждающих элементов: внешних и внутренних, вертикальных и горизонтальных. Существующие в настоящее время технические решения позволяют достичь акустических показателей самого высокого уровня.

### 6.3.2. Устройство перегородок

Перегородки обычно состоят из тонкостенных холодногнутых профилей, к которым с двух сторон крепятся на саморезах листы гипсокартона различной толщины. В результате создается центральная полость, в которую вставляются один или более слоев изоляции (минеральной ваты).

Такие перегородки могут быть объединены с конструктивными элементами здания.

Требуемый уровень звукоизоляционных характеристик может быть обеспечен конструктивно варьированием следующих параметров перегородки:

- Толщины воздушного зазора: она зависит от размера используемых тонкостенных профилей; увеличение зазора приводит к повышению акустических характеристик
- Состава каждой облицовки (количества и типа оштукатуренных отделочных листов)
- Каркаса перегородок: использование стены с двойным стальным каркасом, изолированной от других конструкций здания, улучшает звукоизоляционные характеристики
- Звукопоглощающего слоя: на качество влияют тип и толщина изоляции.



Рисунок 6.6. Двухслойная перегородка

### 6.3.3. Перекрытие

В многоэтажных зданиях со стальным каркасом верхним слоем перекрытий обычно служит оштукатуренная стальная облицовка, улучшающая звукоизоляционные характеристики. Данное решение может быть адаптировано для любых типов перекрытий: сборных железобетонных плит, модульных конструкций, композитных перекрытий и т. д.

На звукоизоляционные характеристики оказывают влияние несколько параметров:

- Толщина бетонной плиты
- Расстояние от подвесного потолка до нижней поверхности плиты перекрытия (минимум 60 см, максимум 100 см)
- Тип и количество гипсокартонных листов (1 или 2 стандартных или специальных листа)
- Тип звукопоглощающей плиты, расположенной между подвесным потолком и низом плиты перекрытия.

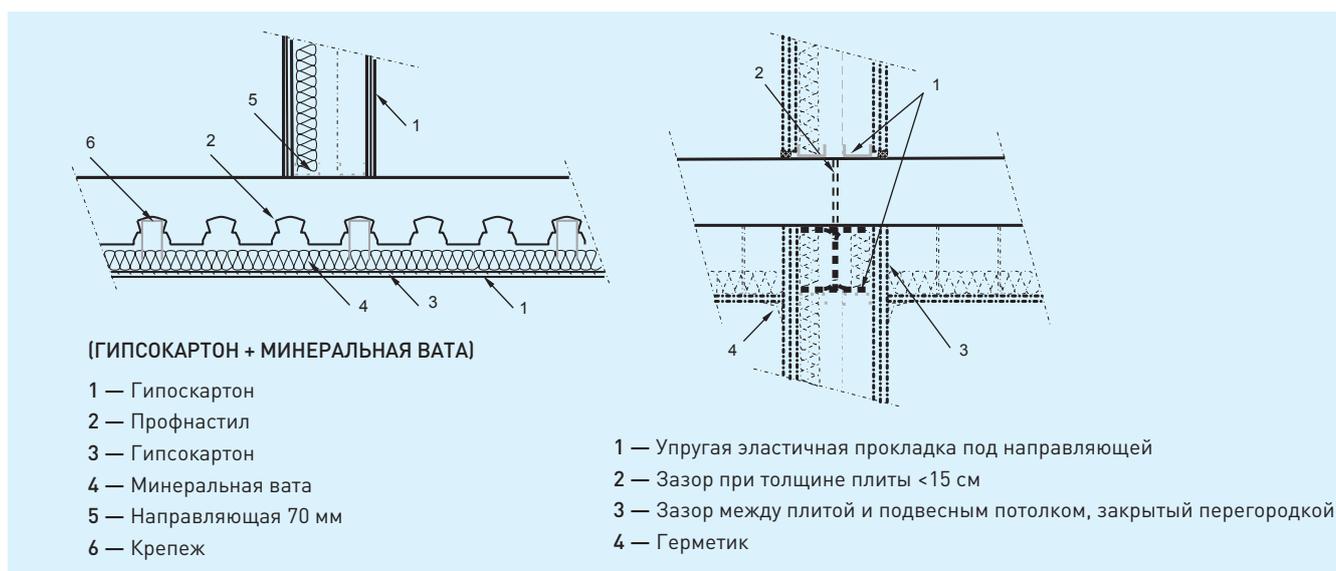


Рисунок 6.7. Сечение по перекрытию

Отдельное внимание следует уделить контролю горизонтального распространения шума:

- В зависимости от толщины плиты может быть необходимым выполнение выреза в плите в месте установки перегородки
- По той же самой причине перегородка должна пересекать свободное пространство над подвесным потолком и доходить до низа перекрытия.
- И наконец, отверстия для прохождения трубопроводов в нижней части стен нельзя сверлить напротив друг друга (минимальный шаг – 50 см).

Рисунок 6.8. Складирование на строительной площадке материалов и изделий для устройства гипсокартонных конструкций – перегородок и потолков



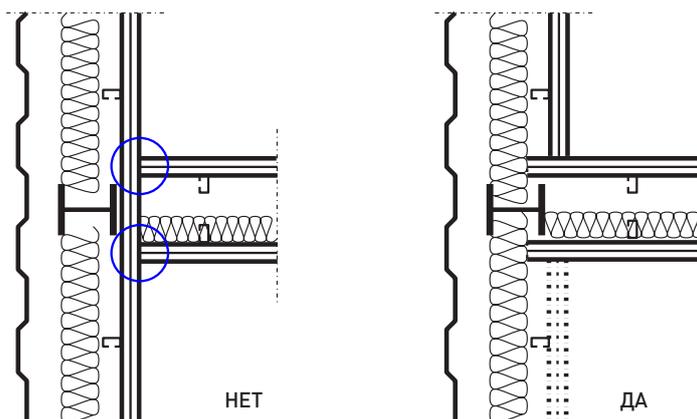
### 6.3.4. Легкие фасады: фасадные системы

Требуемые звукоизоляционные характеристики фасадных систем, представляющих собой наружную оболочку здания, достигаются с помощью тех же компонентов, что и звукоизоляционные характеристики внутренних перегородок:

Перегородки должны проходить сквозь внутреннюю облицовку фасадных панелей и доходить до слоя изоляции.

Таким же образом внутренняя облицовка фасадных панелей должна проходить сквозь свободное пространство над подвесным потолком и доходить до низа плиты перекрытия.

Рисунок 6.9. Горизонтальный разрез в месте соединения фасада и перегородки



### 6.3.5. Стальные покрытия

Существуют специальные методы обработки металлических кровель (покрытие или напыление), позволяющие уменьшить дождевой шум.

## 6.4. Теплоизоляция

Для обеспечения приемлемого уровня теплового комфорта людей, находящихся в здании с контролируемым энергопотреблением, национальные нормативы определяют требования к теплотехническим характеристикам, которые зависят от функционального назначения здания и его расположения.

Эти требования могут быть выражены следующими параметрами:

- Нормируемым уровнем энергопотребления, необходимого для теплового комфорта
- Нормативной внутренней температурой в здании в летний период
- Минимальными теплотехническими характеристиками наружных ограждающих конструкций (ограничение

теплопотерь, в том числе вследствие наличия мостиков холода).

В разделе 6.3 рассматривались различные способы обеспечения необходимых звукоизоляционных характеристик стальных зданий. Широко применяемые в качестве звукоизоляционного материала минераловатные плиты, обеспечивающие необходимые звукоизоляционные характеристики многослойных стен и перегородок, служат также в качестве теплоизоляции, защищающей от потерь тепла.

Например, потери тепла между двумя этажами уменьшаются благодаря использованию слоев минеральной ваты в составе конструкции перекрытий (выше и ниже).

Укладка изоляционных материалов в два слоя означает, что их тип и толщина могут варьироваться, предотвращая, таким образом, значительное количество теплопотерь.

Изоляционные материалы включают минеральную вату или стекловолокно, полиуретановую пену и пенопласт.

Проблема прямых теплопотерь, связанных с возникновением мостиков холода между металлическими деталями, находящимися в одновременном контакте с наружным воздухом и внутренним пространством здания, должна решаться на уровне специальной детализации узлов.

## 6.5. Долговечность стальных конструкций

В этом разделе рассматриваются вопросы долговечности конструкций стальных зданий. Экоустойчивость самого материала, особенно в отношении утилизации и повторного использования, обсуждается в разделе 7 этой книги.

Усталость металла и коррозия являются двумя главными причинами повреждения и разрушения элементов стальных конструкций. Обычные многоэтажные здания, которые рассматриваются в этой книге, не подвержены усталости. Поэтому данный раздел посвящен только проблемам коррозии.

Прежде всего важно отметить, что стальные каркасы зданий обычно не испытывают значительных повреждений в результате атмосферной коррозии. Более того, коррозия не является проблемой для стальных конструкций, расположенных внутри здания.

Если даже при отсутствии соответствующей антикоррозионной защиты на поверхности несущих элементов может появиться слой ржавчины, вызванный влиянием атмосферных условий окружающей среды, это редко является причиной повреждения или разрушения зданий при условии, что

предприняты элементарные профилактические меры.

Напротив, атмосферные условия окружающей среды в некоторых регионах, таких как морские прибрежные зоны с высоким содержанием солей в атмосфере, а также зоны расположения промышленных предприятий с агрессивными выбросами в атмосферу, оказывающими корродирующее воздействие, могут привести к необходимости применения комплекса мероприятий по антикоррозионной защите стальных конструкций, включая регулярный контроль и обслуживание.

### 6.5.1. Явление коррозии

Коррозия вызвана образованием солей и металлов на поверхности элементов стальных конструкций, когда вступает в контакт с другими химическими элементами. Например, коррозия железа приводит к образованию оксида железа.

Процесс коррозии может быть:

- Химическим: металл вступает в химическую реакцию с газами или жидкостью
- Электрохимическим: возникновение электрического тока и анодное окисление металла.
- Биохимическим: воздействие бактерий.

#### Коррозия стали

Ржавчина появляется в результате коррозии и состоит, главным образом, из оксидов и гидроксидов железа, которые образуются при наличии влаги и кислорода, содержащихся в атмосфере.

Слои оксидов обычно не адгезивны, поэтому окисление продолжается непрерывно. Потеря веса металлоконструкций является линейной функцией от времени.

Продукт коррозии – ржавчина – не создает защиту для нижележащих слоев стали.

Окружающая атмосфера и климат оказывают значительное влияние на скорость распространения коррозии.

#### Условия окружающей среды

Общие условия окружающей среды в месте расположения здания оказывают значительное влияние на скорость коррозии. Существует четыре типовых категории атмосферно-коррозийной активности окружающей среды, а именно:

- Сельская местность: чередование сухой и влажной атмосферы с низким уровнем загрязнений
- Городская среда: чередование сухой и влажной атмосферы с умеренным загрязнением диоксидом серы (SO<sub>2</sub>)
- Прибрежные и морские районы: высокая относительная влажность при наличии хлоридов, способствующих ускорению коррозии
- Промышленные районы: наличие агрессивных химических веществ – коррозия связана со степенью и интенсивностью загрязнений в атмосфере.
- Климат

Тепло и влажность являются факторами, ускоряющими явление коррозии. В условиях тропического климата агрессивная коррозия в сельской местности сравнима с коррозией в промышленных районах, расположенных в умеренных климатических поясах.

#### Элементарные меры предосторожности

При проектировании металлоконструкций необходимо предусматривать любые возможные меры, позволяющие ограничить появление и развитие коррозии, а именно:

- Для всех стальных элементов, находящихся на открытом воздухе, необходимо избегать образования зон, в которых может скапливаться и застаиваться вода и влага
- Необходимо избегать прямого контакта между материалами, имеющими разный электрохимический потенциал (например, алюминий и сталь без защитного покрытия).

**Антикоррозионная защита элементов стальных конструкций**

Методы антикоррозионной защиты рекомендуется принимать в зависимости от условий окружающей среды, в которых находятся стальные конструкции.

Существует два главных метода защиты:

- Окрашивание
- Цинкование.

**6.5.2. Антикоррозионные лакокрасочные покрытия**

В таблице 6.6 представлены наиболее распространенные системы антикоррозионных покрытий.

Следует заметить, что стальные конструкции, расположенные внутри здания, где отсутствует влажная или агрессивная окружающая среда, и которые полностью защищены от влияния погодных условий, не подвержены коррозии до такой степени, чтобы это оказывало влияние на их несущую способность, даже в отсутствие антикоррозионной защиты. Однако не исключено появление участков ржавчины, имеющей неэстетичный внешний вид, но этого легко избежать посредством нанесения легких лакокрасочных покрытий.

При отсутствии антикоррозионной защиты поверхности металлоконструкций должны оставаться доступными для инспекции и осмотра, что позволит своевременно заметить появление более интенсивной коррозии, чем предполагалось.

Таблица 6.6. Антикоррозионные покрытия и их толщина

УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	ТРАДИЦИОННЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ	КОМПЛЕКСНЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ
Элементы, встроенные в плиты перекрытий и фасады, которые не нуждаются в защите в отсутствие влажности	1 или 2 слоя антикоррозионной грунтовки общей толщиной от 40 до 50 мк	Лакокрасочные составы толщиной 15–20 мк
Элементы, расположенные внутри зданий в отсутствие постоянной влажности	1 слой антикоррозионной грунтовки, 1 отделочный слой покрытия общей толщиной от 60 до 80 мк	Лакокрасочные составы 1 отделочный слой покрытия общей толщиной 60 мк
Элементы, расположенные внутри неотапливаемых зданий или в зданиях с высокой влажностью	2 слоя антикоррозионной грунтовки, 1 промежуточный слой покрытия, 1 отделочный слой покрытия общей толщиной от 80 до 120 мк	Лакокрасочные составы: 1-2 слоя толщиной от 80 до 100 мк Или Оцинкованные изделия и изделия с заводским слоем лакокрасочного покрытия
Элементы, находящиеся в непосредственном контакте с наружным воздухом, в условиях влажного климата в городских или промышленных регионах	2 слоя антикоррозионной грунтовки, 1 промежуточный слой покрытия, 1 отделочный слой покрытия общей толщиной от 120 до 200 мк	Лакокрасочные составы + 2 отделочных слоя покрытия общей толщиной 100-120 мк или оцинкованные изделия и изделия с заводским слоем лакокрасочного покрытия
Элементы в непосредственном контакте с морской средой	2 слоя антикоррозионной грунтовки или 1 слой оцинковки, 1 промежуточный слой покрытия, 1 отделочный слой покрытия общей толщиной более 150 мк	Лакокрасочные составы + 2 слоя покрытия с высоким содержанием цинка или оцинкованное или металлизированное покрытие+окраска с высоким содержанием цинка или изделия с заводским слоем лакокрасочного покрытия

Элементы стальных конструкций обычно доставляются на строительную площадку с нанесенной на их поверхность антикоррозионной грунтовкой. После окончания строительства необходимо повторно нанести слой грунтовки на тех участках металлоконструкций, на которых она была повреждена в процессе монтажа.

Хотя элементы, замоноличенные в бетон, обычно не имеют антикоррозионного покрытия, те их части, которые не полностью покрыты бетоном, часто могут подвергаться коррозии и поэтому должны быть тщательно защищены (включая торцы колонн).

Перед нанесением антикоррозионного покрытия на открытых поверхностях металлоконструкций необходимо выполнить и проверить все сварные швы. Для сварки стальных элементов с нанесенной на поверхность грунтовкой должна применяться особая технология сварки.

**Приблизительный срок эксплуатации элементов с лакокрасочным покрытием составляет от 8 до 10 лет до первого технического обслуживания.**

#### 6.5.3. Антикоррозионная защита цинкованием

Принцип оцинковки заключается в образовании защитного слоя цинка и сплава стали и цинка на поверхности стальных элементов с целью защиты от коррозии.

Оцинкованный слой постепенно окисляется, образуя защитную пленку, которая становится основным препятствием для дальнейшего окисления.

Однако такая форма защиты ограничена по времени и теряет свою эффективность после коррозии цинкового покрытия.

#### Скорость коррозии и срок эксплуатации антикоррозионной защиты

Условия окружающей среды и климата имеют непосредственное влияние на скорость коррозии. Загрязненная промышленными выбросами атмосфера прибрежных районов очевидно является более агрессивной, чем атмосфера сельских районов, расположенных вдали от прибрежной полосы.

В зависимости от условий окружающей среды скорость коррозии варьируется от 0,1 мк/год до 8 мк/год.

EN ISO 14713 содержит справочные данные о средней годовой скорости коррозии цинка, на основе которых возможно оценить срок эксплуатации цинкового покрытия в зависимости от его толщины.

**Приблизительный срок эксплуатации оцинкованного покрытия составляет 25 лет.**

#### Эстетические свойства и окраска

Все оцинкованные стальные изделия могут быть окрашены для изменения внешнего вида и эстетических качеств поверхности. Окраска значительно увеличивает срок эксплуатации оцинкованной стали. Ремонт и техническое обслуживание изделий из оцинкованной стали путем окрашивания отличается простотой и легкостью выполнения: новый слой краски наносится на поврежденные участки с помощью кисти. Окрашивание также может использоваться как дополнительное средство защиты от коррозии в условиях агрессивной окружающей среды, в которой кислотные растворы могут повреждать поверхностное покрытие.

#### Технологический процесс оцинковки

Цинковое покрытие может быть нанесено путем погружения стального изделия в емкость с расплавленным цинком (горячий метод цинкования), напыления металлизированных растворов (холодный метод цинкования) или с помощью электролиза. Горячий метод цинкования в основном используется при производстве новых изделий, размеры которых должны быть сопоставимы с размерами емкости с цинковым раствором. Метод напыления применяется при реставрационных и ремонтных работах или для крупных элементов зданий. Электролиз подходит для оцинковки небольших изделий и серийной обработки (например, болтов).

**Технологический процесс оцинковки**

Цинковое покрытие может быть нанесено путем погружения стального изделия в емкость с расплавленным цинком (горячий метод цинкования), напыления металлизированных растворов (холодный метод цинкования) или с помощью электролиза. Горячий метод цинкования в основном используется при производстве новых изделий, размеры которых должны быть сопоставимы с размерами емкости с цинковым раствором. Метод напыления применяется при реставрационных и ремонтных работах или для крупных элементов зданий. Электролиз подходит для оцинковки небольших изделий и серийной обработки (например, болтов).

**Прочие замечания**

Сварка. Перед сваркой оцинкованных изделий рекомендуется удалить цинковое покрытие в пределах зоны сварных швов. После выполнения сварных швов сварное соединение будет защищено лакокрасочным покрытием с высоким содержанием цинка.

Поведение во время пожара. Оцинкованные стальные изделия при взаимодействии с огнем ведут себя так же, как и неоцинкованная сталь. Таким образом, оцинковка не улучшает огнестойкость стальных конструкций.

## 6.6. Интеграция инженерных коммуникаций

### 6.6.1. Общие замечания

Многоэтажное здание, независимо от его назначения, представляет собой систему, состоящую из множества элементов и деталей, каждый из которых играет особую роль в функционировании здания. Это относится не только к несущим и ограждающим конструкциям, но также и инженерно-технологическому оборудованию и инженерным коммуникациям, обеспечивающим жизнедеятельность здания и его эксплуатацию.

Координация взаимодействия между инженерными системами и конструкциями здания должна обеспечивать:

- Доступность коммуникаций для технического обслуживания
- Возможность замены отдельных элементов инженерных систем, если срок их эксплуатации короче, чем у несущих конструкций здания
- Предотвращение нежеланных эффектов, вызванных вибрацией несущих конструкций здания в связи с работой инженерных систем.

Основными инженерными системами здания являются:

- Отопление и кондиционирование
- Вентиляция

- Системы электроснабжения здания, включая слаботочные сети.

Инженерные коммуникации здания включают горизонтальные и вертикальные сети.

### 6.6.2. Горизонтальные инженерные коммуникации

Стальные несущие и ограждающие конструкции обеспечивают весьма эффективные методы интеграции горизонтальной разводки инженерных коммуникаций, как показано в таблице 6.7. В этом контексте следует отдельно выделить использование балок с перфорированной стенкой, описание которых можно найти в разделах 3 и 4 данной книги. Поскольку горизонтальные коммуникации могут проходить через балки насквозь, то высота этажа может быть уменьшена. В некоторых случаях это позволяет добавить дополнительные этажи, не меняя общую высоту здания.

Стандартная конфигурация перфорированных балок (регулярное расположение отверстий одинакового размера) в общем случае может быть модифицирована таким образом, чтобы создать отверстия большего размера в средней части пролета, через

которые можно проложить большие прямоугольные воздуховоды (рисунок 6.10)

### 6.6.3. Вертикальные инженерные коммуникации

Стальной каркас и типовые системы ограждающих конструкций также обеспечивают гибкие инженерные решения по интеграции вертикальных инженерных коммуникаций, благодаря наличию свободного пространства в пределах толщины стеновых конструкций.

Выполнение отверстий в перекрытиях и изменение их положения в течение срока эксплуатации здания значительно облегчается при использовании легких сборных конструкций перекрытий по профнастилу.

Рекомендуется избегать прокладки инженерных коммуникаций через полые профили (между поясами) из-за возможных проблем в местах опирания балок на колонны и в случае нанесения огнезащитного покрытия.

Устройство вертикальных трубопроводов в колоннах коробчатого сечения является нежелательным из-за отсутствия доступа для технического обслуживания.

Таблица 6.7. Способы интеграции горизонтальных инженерных коммуникаций

КОММУНИКАЦИИ	ОСОБЕННОСТИ
Открытые коммуникации	Коммуникации могут быть открытыми в связи с экономическими, техническими или архитектурными требованиями. Преимуществом является легкость доступа. Недостаток – риск ударных воздействий по незащищенным коммуникациям.
Коммуникации, проходящие над подвесным потолком	Коммуникации могут быть установлены ниже перекрытий, а затем скрыты подвесным потолком. При необходимости могут быть полностью или частично разобраны. Подвесной потолок вырезается вдоль перегородок или в связи с требованиями пожаробезопасности. Коммуникации могут проходить насквозь через перфорированные балки или фермы.
Коммуникации, встроенные в настил перекрытия	Такое расположение коммуникаций возможно только для определенного вида трубопроводов малого диаметра.
Коммуникации, проходящие в толщине стен	Устройство композитных фасадных стен облегчает прокладку и разводку коммуникаций различных инженерных систем, благодаря отсутствию препятствий в виде тяжелых стен.
Коммуникации, проходящие под фальшполом	Фальшпол всегда состоит из стальных элементов. Пространство между перекрытием и фальшполом позволяет размещение и прокладку коммуникаций с большим количеством каналов. Такое решение обеспечивает полный доступ для технического обслуживания и гибкость в размещении коммуникаций.



Рисунок 6.10. Горизонтальные инженерные коммуникации, проходящие через балки с перфорированными стенками

# 7 Стальное строительство и экоустойчивость

Озабоченность устойчивым развитием в значительной степени затрагивает строительную отрасль, которая несет ответственность за 25% выбросов парниковых газов и за 40% потребляемой энергии. Это представляется ключевой проблемой для всех профессионалов строительной отрасли.

Сегодня основной вопрос заключается в разработке и реализации творческих проектов, которые объединяют в себе экономическую эффективность и новые технологии. Сталь является главным инструментом в решении задачи улучшения качества наших зданий и их влияния на среду обитания.

Общие принципы основываются на трех главных факторах, которые необходимо учитывать: экологическом, экономическом и социо-культурном; хотя методы определения их влияния еще не были согласованы в международном масштабе. Устойчивое развитие зданий касается широкого круга вопросов, связанных с выбором материалов, строительных технологий, эксплуатацией здания и окончанием срока службы. Эти вопросы могут быть выражены посредством специальных критериев, таких как расход энергии для производства материалов, минимизация отходов, сокращение энергопотребления (и выбросов углекислого газа), загрязнение окружающей среды и другие глобальные воздействия.

## 7.1. Жизненный цикл зданий

Сталь является отличным решением с точки зрения экономии сырьевых материалов благодаря возможности ее повторного использования. Сталь может использоваться заново бесконечное количество раз, не теряя при этом своих свойств.

На сегодняшний день 50% европейской стали производится на основе металлолома, что позволяет значительно уменьшить потребность в использовании руды. Для некоторых изделий, выпускаемых для нужд строительной отрасли, этот показатель может достигать 98%. Такое повторное использование стали стало возможным благодаря ее магнитным свойствам, упрощающим процесс сортировки металлолома.

За 25 лет контроль энергозатрат и сокращение выбросов углекислого газа в процессе производства привели к огромному прогрессу в развитии новых материалов на основе стали, а также в изучении проблем жизненного цикла материалов и изделий. Стальная индустрия в Европе внесла значительный вклад в повышение энергоэффектив-

ности и в сокращение выбросов углекислого газа.

В период между 1970 и 2005 годом европейская стальная индустрия сократила выбросы углекислого газа на 6%, при этом между 1990 и 2005 годом это сокращение составило 21% (по данным Европейской ассоциации производителей чугуна и стали – EUROFER). В тот же период производство термически необработанной стали увеличилось на 11,5% (по данным Международной металлургической ассоциации).

На подходе другие решения, которые могут улучшить уже достигнутые результаты.

Сталь является нейтральным металлом, который не выделяет токсичных веществ или элементов, оказывающих вредное влияние на здоровье или окружающую среду, даже под воздействием коррозии.

Оцинковка и окрашивание, выполняемые в заводских условиях, представляют собой методы антикоррозионной защиты, гарантирующие долговечность стали на срок до 25 лет.

Техническое обслуживание стали ограничивается регулярными осмотрами и периодическим окрашиванием.

### Жизненный цикл зданий

#### Преимущества использования стальных конструкций и изделий в строительстве

#### Эффективные решения стальных конструкций для зданий



Рисунок 7.1. *Офисное здание на площади Дефанс в Париже, отмеченное как здание, отвечающее высшим стандартам экологичности*

## 7.2. Преимущества использования стальных конструкций и изделий в строительстве

На сегодняшний день производство строительных материалов и изделий осуществляется на основе подходов, закрепленных в Экологической декларации продукции (ЭДП), основная цель которой, в соответствии с ISO 21930, заключается в предоставлении релевантной, проверенной и сопоставимой информации, отвечающей требованиям различных потребителей и рынка в целом.

Используя экспертизу жизненного цикла, стальная индустрия уже разработала несколько ЭДП для типовых изделий, а также для фирменных систем. Потребление энергии и света за период жизненного цикла превышает энергию, затраченную на производство конструкции.

Благодаря эффективному использованию материалов, стальное строительство минимизирует производственные отходы изготовления и монтажа металлоконструкций, поскольку все вы-

резанные или высверленные стальные элементы отправляются на повторное использование для изготовления новых стальных изделий. В целом, усредненные отходы стали, отправленной в переработку, составляют около 2%, тогда как средний европейский показатель для всех материалов и изделий, используемых на строительной площадке, равен 10%.

Минимальное отношение объемной массы материала к его расчетному сопротивлению предоставляет исключительные конструкторские и архитектурные возможности. Это открывает путь сокращения веса здания с использованием тонкостенных фасадных конструкций. Такие конструкции (или конструктивные решения) обеспечивают большие пространства с естественным освещением и предоставляют широкие возможности архитектурной интеграции.

Применение стали в комбинации с другими материалами предлагает эффективные решения для тепло- и звукоизоляции.

Для ограждающих конструкций металлические элементы обычно проекти-

руются с наружной теплоизоляцией; стены выполняются с использованием панелей заводского изготовления, металлических или нет (стекло, древесина, бетон, терракота, штукатурка и т. д.), которые обеспечивают высокий уровень теплозащиты. Системы отопления и вентиляция могут быть выбраны с учетом оптимизации энергопотребления.

Широкий спектр качеств способствует разнообразию архитектурных решений и позволяет оптимизировать выбор строительных материалов и технологий, особенно с точки зрения глобального жизненного цикла проектируемого здания вплоть до его демонтажа.

## 7.3. Эффективные решения стальных конструкций для зданий

Для зданий в Европе существует несколько экологических стратегий, основанных на разнообразных критериях, которые могут быть качественными или количественными. Однако некоторые темы являются общими, но имеют различные аспекты. Стальные здания дают уверенные ответы на все вопросы.

### Гармоничная интеграция здания с окружающей средой

Использование стального несущего каркаса в строительных проектах обеспечивает проектировщикам широкую свободу и гибкость при выборе архитектурных форм и технологий производства работ с учетом ограничений, накладываемых условиями строительной площадки.

Стальные материалы и изделия, применяемые для устройства фасадов и покрытий, предоставляют архитектору широкий спектр текстурных, цветовых и геометрических решений, отвечающих требованиям самых разнообразных площадок строительства, расположенных как в историческом центре города, так и в сельской местности.

### Легкость конструкций и гибкость планировок внутреннего пространства

Основной несущий каркас, состоящий из балок и колонн, является типовым для стальных зданий. Отсутствие несущих стен в составе каркаса способствует сокращению собственного веса, что влечет за собой уменьшение влияния на фундаменты и грунтовое основание.

Это также облегчает перепланировку внутреннего пространства в случае изменения функционального назначения здания.

Несущий каркас, собираемый из отдельных элементов, является эффективным решением при надстройке этажей здания, а также при реконструкции существующих зданий.

### Высокая технологичность производства работ на строительной площадке

Стальные конструкции и сопутствующие детали и изделия производятся в заводских условиях с высокой точностью и качеством изготовления. Они доставляются на строительную площадку для монтажа, имея точные размеры. Благодаря повышенной степени заводской готовности, характерной для строительных систем с применением металлоконструкций, скорость монтажа значительно возрастает.

Строительная площадка значительно преобразуется благодаря аккуратности

сти и точности монтажа, уменьшению объемов складированных материалов и изделий и необходимых для этого площадей, а также отсутствию отходов.

### Техническое обслуживание и ремонт

Применение стальных конструкций обеспечивает долговечность, а также способствует облегчению технического обслуживания здания и замены его отдельных компонентов.

Инженерные коммуникации (трубопроводы, воздуховоды и т. д.) обычно размещаются в пределах высоты подвесного потолка. Это значительно облегчает техническое обслуживание и при необходимости изменение разводки инженерных коммуникаций, особенно при условии наличия балок с перфорированной стенкой. Такая гибкость позволяет проводить полную замену коммуникаций на разных этажах.

Снос здания по окончании срока службы представляет собой аккуратный демонтаж с полным восстановлением материалов.

### Повторное использование стального проката

Как показывают проведенные исследования, около 11% стального проката в строительном секторе Западной Европы используется повторно непосредственно после демонтажа без переплавки (отчет «Анализ жизненного цикла в стальном строительстве», выпущенный под эгидой Европейского объединения горнодобывающих и металлургических компаний (ECSC), шифр документа RT913, публикация Института стального строительства, июль 2002).

### Создание комфортного и безопасного внутреннего пространства

В стальных зданиях допустимо устройство всевозможных по составу стен и внутренних перегородок.

Технические решения с использованием металлоконструкций в сочетании с дополнительными сопутствующими материалами и изделиями способствуют отличной звукоизоляции на основе принципа работы системы «масса-пружина-масса».

Для тепловой защиты зданий применение стали позволяет проектировать

«теплые» фасады, которые могут быть адаптированы к разнообразным климатическим условиям:

- Двухслойные фасады с вентилируемой воздушной прослойкой
- Неподвижные или подвижные системы контроля поглощения солнечной радиации.

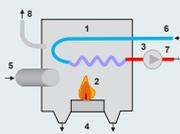
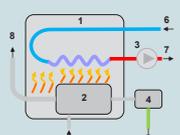
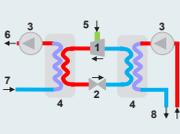
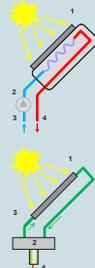
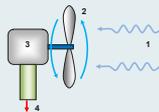
### Интегрирование альтернативных технологий в стальных зданиях

Существует множество причин для применения альтернативных энергетических технологий при проектировании зданий. Как правило, первостепенными источниками мотивации выступают вдохновенность «зелеными» технологиями и особые экологические требования к проекту, которые устанавливаются, сколько процентов поглощаемой зданием энергии должны обеспечиваться за счет использования альтернативных энергетических технологий, включая возобновляемые источники энергии.

Альтернативные энергетические технологии обладают экологическими преимуществами по сравнению со стандартными источниками энергии. Более того, такие технологии не оказывают значительного влияния на стальные здания. Основными вопросами, касающимися применения альтернативных энергетических технологий, являются:

- Технические помещения: расположение технических помещений и пространственные ограничения могут оказать решающее влияние на целесообразность применения определенных технологий
- Затененность: форма нового здания может накладывать ограничения на размещение солнечных батарей
- Расположение кровли: ориентация и форма кровли могут накладывать ограничения на производство энергии, допуская либо подогрев горячей воды, либо размещение солнечных батарей
- Надежность: использование непроверенных технологий может оказаться ненадежным, и поэтому проектный уровень экономии источников энергии на основе углеводородов не будет достигнут.

Таблица 7.1. Источники возобновляемой энергии

ТИП	ЗАМЕЧАНИЯ	
<p><b>Отопление на основе биомассы</b></p> <p>1 – Бойлер 2 – Топка 3 – Насос 4 – Удаление продуктов сгорания 5 – Подача топливной биомассы 6 – Холодная вода 7 – Горячая вода 8 – Дымоход</p>		<p>Для размещения бойлера и складирования топлива требуется специальное техническое помещение, которое может быть встроено в основной объем здания с устройством опорной стальной рамы для установки бойлера.</p>
<p><b>Комбинированная выработка тепла и электроэнергии (микро ТЭС)</b></p> <p>1 – Бойлер 2 – Двигатель (например, двигатель Стирлинга. – Прим. перев.) 3 – Насос 4 – Генератор 5 – Подача газа 6 – Холодная вода 7 – Горячая вода 8 – Дымоход 9 – Электричество</p>		<p>Для этой системы требуется только типовое техническое помещение. Система полностью совместима со стальным несущим каркасом многофункциональных зданий со значительным потреблением горячей воды. Использование данной системы целесообразно в плавательных бассейнах, гостиницах и больницах.</p>
<p><b>Тепловой насос с использованием геотермальной энергии</b></p> <p>1 – Компрессор 2 – Запорный клапан 3 – Насос 4 – Теплообменник 5 – Подача электричества 6 – Подача горячей воды 7 – Возврат остывшей воды 8 – Возврат к источнику теплоносителя 9 – Подача теплоносителя из грунтового колодца или скважины</p>		<p>Данная система может применяться во всех случаях, где есть достаточно места для размещения технического помещения и грунтовых скважин или колодцев. Часто для этой цели используют помещения парковок или участки зеленых насаждений. Эта технология подходит для всех стальных зданий.</p>
<p><b>Система горячего водоснабжения с использованием солнечной энергии</b></p> <p>1 – Пластина поглотителя солнечного коллектора 2 – Насос 3 – Подача холодной воды 4 – Возврат горячей воды</p> <p><b>Фотоэлектрические солнечные батареи</b></p> <p>1 – Панели фотоэлементов 2 – Генератор электроэнергии постоянного тока 3 – Инвентар 4 – Электричество</p>		<p>Солнечные батареи могут устанавливаться на плоских кровлях, опираясь на металлоконструкции специальных опорных консолей, что исключает их влияние на стальные конструкции покрытия. При этом необходимо принять во внимание собственный вес, ветер и влагозащитное покрытие. На скатных кровлях система может быть установлена с использованием дополнительных стальных конструкций, скоб или непосредственно встроена в пирог кровли, подобно панелям ПВХ, либо на фасаде с креплением к обычным направляющим.</p>
<p><b>Ветровые турбины</b></p> <p>1 – Ветровая энергия 2 – Лопатки турбины 3 – Генератор 4 – Электричество</p>		<p>Подключение мелкомасштабных ветровых турбин не требует наличия большой инфраструктуры, кроме технической возможности прокладки кабельных каналов от места установки турбин до подходящего технического помещения. В случае непосредственного опирания на стальные элементы основного несущего каркаса здания необходимо учесть дополнительные нагрузки, вибрации и шум. Небольшие ветровые турбины подходят для таких стальных зданий, как офисные комплексы, корпуса промышленных предприятий или самолетных ангаров, которые расположены на пути движения ветровых потоков, вдали от неровностей рельефа земной поверхности и других помех.</p>

## 8 Заключение

Сталь занимает свое достойное место в ряду материалов для архитектурного проектирования благодаря своим исключительным физико-механическим характеристикам, предоставляемой свободе технического мастерства, гибкости использования в зданиях различного типа, своей пластичности и эстетическому потенциалу, а также креативности, на которую она вдохновляет.

Когда архитектор выбирает сталь, он знает, что такой выбор влечет за собой немалые последствия и, прежде всего, предполагает тщательную проектную проработку, понимание функциональности каждого из элементов, составляющих проект, а также анализ всех стадий строительства – от разработки чертежей до повседневного управления завершённым проектом. Во-вторых, выбор стали – то выражение уверенности, накладывающей свой отпечаток на весь проект, способ понимания и восприятия, готовность внести свой вклад в городской ландшафт, интегрировав в городскую среду воздух и свет. Сталь определяет выразительность формы, что придает содержание архитектурному дизайну.

Выбор стали для проектирования многоэтажных зданий обеспечивает экономию стоимости, прочность, долговечность, проектную гибкость, адаптируемость и возможность вторичного использования. Это также означает выбор надежной промышленной продукции, производимой в огромном разнообразии форм и цветов; быстрый монтаж и низкое энергопотребление. Это означает выбор в пользу принципов устойчивого развития. Пригодная к повторной переработке неограниченное количество раз сталь отражает первоочередные требования устойчивого развития. И наконец, выбор стали означает большую свободу в строительстве и в архитектурном творчестве. Это привнесение стиля в здания и города будущего.

### ССЫЛКИ

EN ISO 14713 Защитные цинковые покрытия. Руководство и рекомендации по защите от коррозии железных и стальных конструкций

ISO 21930:2007 Устойчивое развитие в строительстве зданий. Экологическая декларация строительной продукции

# СТАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В ЕВРОПЕ

## Многоэтажные стальные здания

# ЧАСТЬ 1. РУКОВОДСТВО ДЛЯ АРХИТЕКТОРОВ

*Перевод с английского*

Подписано в печать 11.07.2017. Формат: 50х70/4. Усл. печ. л. 18. Тираж 2000 экз. Заказ 0710/1.  
Бумага мелованная матовая. Печать офсетная. Гарнитура: DINPro, Arial.

Ассоциация развития стального строительства, Москва, ул. Беловежская, д. 4  
Отпечатано ООО «АКСИОМ ГРАФИКС ЮНИОН», Москва, 2-й Кожевнический пер., д. 12, стр. 2

ISBN 978-5-9907551-6-1



9 785990 755161



# АРСС

Ассоциация развития  
стального строительства



АССОЦИАЦИЯ РАЗВИТИЯ  
СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

+7 (495) 744-02-63

info@steel-development.ru

[www.steel-development.ru](http://www.steel-development.ru)