

АРСС

Ассоциация развития
стального строительства

СТАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В ЕВРОПЕ



Основные проектные
решения

ЧАСТЬ 2

Многоэтажные стальные
здания



Ассоциация развития
стального строительства

СТАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В ЕВРОПЕ Многоэтажные стальные здания

ЧАСТЬ 2. ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

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

Валерий Вячеславович Карневич,
B.Sc. in Civil Engineering, University of Alberta

Steel Buildings in Europe
MULTI-STOREY STEEL BUILDINGS
Part 2: Concept Design

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 2: Concept Design 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 2. Основные проектные решения / Ассоциация развития стального строительства ; [пер. с англ. : В.В. Галишникова, С.А.Печорская, В.В.Карневич]. – Москва : АКЦИОМ ГРАФИКС юнион, 2017. – 82 с. : ил.**

Данная книга представляет собой вторую часть из серии публикаций, посвященных вопросам проектирования современных многоэтажных зданий с применением инновационных технологий стального строительства. Информация изложена как с точки зрения принципиальных подходов к проектированию зданий с применением металлокаркаса, так и с точки зрения конструктивных решений отдельных компонентов основных несущих и ограждающих конструкций. Особое внимание уделено вопросам проектирования большепролетных композитных сталежелезобетонных перекрытий, обеспечивающих повышение эффективности использования стали, а также исключительную гибкость архитектурных и объемно-планировочных решений внутреннего пространства. Представлены также варианты конструктивных систем перекрытий, состоящих из сборных железобетонных панелей. В книге приводятся таблицы для предварительного выбора различных конструктивных систем с типовым расположением несущих элементов и их размерами.

УДК 624.014.2
ББК 38.54

Обращение Ассоциации развития стального строительства

Уважаемые читатели!

Перед вами продолжение серии публикаций «Стальные здания в Европе», посвященных вопросам проектирования современных многоэтажных зданий с применением инновационных технологий стального строительства. В этой части речь, в первую очередь, пойдет о многофункциональных офисных зданиях, однако представленная информация актуальна и для зданий другого назначения.

В издании приведены сведения, необходимые для оптимального выбора и использования стальных конструкций на стадии разработки основных проектных решений для современных многоэтажных зданий. Материалы изложены с точки зрения содействия процессу проектирования зданий в целом, их отдельных характерных особенностей, а также конструктивных схем, применяемых в многоэтажном строительстве. Данное издание, посвященное основным проектным решениям многоэтажных каркасных зданий, является составной частью Руководства по проектированию.

Применение большепролетных композитных сталежелезобетонных конструкций — важный шаг, позволяющий более эффективно использовать сталь в многоэтажных зданиях. Поэтому в данной книге особое внимание уделено именно композитным конструкциям. Представлены также другие конструктивные системы перекрытий, например, состоящие из сборных железобетонных панелей.

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.



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 инфра-

структуры, 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 предусматривалось, 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 проек-

тов, 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 «культурных» 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 актуальна и своевременна 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.

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

Валерий Вячеславович Карневич,
B.Sc. in Civil Engineering, University of Alberta

Вступление

Эта публикация является второй 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).

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



Содержание

ВСТУПЛЕНИЕ	7
СОДЕРЖАНИЕ	8
1. ВВЕДЕНИЕ	10
1.1. Стадийность проектирования	12
1.2. Техническое задание заказчика	13
1.3. Экономическая эффективность проекта	14
1.4. Технологическая последовательность производства строительно-монтажных работ	16
1.5. Рациональное использование природных ресурсов и экоустойчивость строительства	17
2. ПРЕИМУЩЕСТВА СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	21
2.1. Высокая скорость монтажа металлоконструкций	21
2.2. Технология производства работ	22
2.3. Большепролетные конструкции и монтаж инженерных коммуникаций	23
2.4. Низкий собственный вес металлоконструкций и эффективное использование материалов	25
2.5. Гибкость архитектурно-планировочных решений внутреннего пространства здания	25
3. ПРИМЕРЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ СО СТАЛЬНЫМ КАРКАСОМ	26
3.1. Офисное здание Bishop Square, Лондон	26
3.2. Le Seguana, Париж	28
3.3. Торговая палата в Люксембурге	29
3.4. Многофункциональный офисный комплекс «Кингс Плас» в районе Кингс-Кросс в Лондоне	30
3.5. Штаб-квартира компании Копе, Хельсинки	31
3.6. Центр металлоконструкций «Арселор-Миттал», Льеж	32
4. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТА	33
4.1. Компоновка сетки колонн	33
4.2. Назначение основных размеров	35
4.3. Обеспечение пространственной неизменяемости конструктивной системы	36
4.4. Колонны	39
4.5. Конструктивные системы перекрытий	41
4.6. Факторы, влияющие на конструктивную схему	45
4.7. Координация конструктивных решений с инженерными системами здания	46
5. КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЫТИЙ	49
5.1. Композитные сталежелезобетонные конструкции	49
5.2. Композитные сталежелезобетонные балки и плиты по профнастилу	50
5.3. Большепролетные сталежелезобетонные балки с отверстиями в стенке	54
5.4. Перфорированные сталежелезобетонные балки с композитными плитами по профнастилу	57
5.5. Композитные сталежелезобетонные балки со сборными железобетонными плитами	61
5.6. Некомпозитные балки со сборными железобетонными плитами	64

5.7. Перекрытия со встроенными балками и сборными железобетонными плитами	66
5.8. Неравнополочные балки в перекрытиях по профнастилу с высоким гофром.	69
5.9. Проектирование и детализовка узлов балочных конструкций	71
6. ПРОЧИЕ ПРОЕКТНЫЕ АСПЕКТЫ	73
6.1. Особые нагрузки и воздействия	73
6.2. Учет динамических воздействий на перекрытия	76
6.3. Защита от коррозии	77
6.4. Температурные воздействия	77
6.5. Пожаробезопасность	77
6.6. Акустические требования	77
6.7. Энергоэффективность	79
6.8. Фасады	79
ЛИТЕРАТУРА	83

1 Введение

В многоэтажных зданиях выбор конструктивной схемы зависит от целого ряда условий:

- Необходимости обеспечения свободных пролетов перекрытий для создания полезного пространства
- Выбора фасадной системы
- Требований к объемно-планировочным решениям, которые могут ограничить высоту всего здания и максимальную высоту этажа
- Проекта инженерных систем и их рациональной интеграции
- Гидро-геологических условий площадки строительства, определяющих вид фундаментной системы и расположение отдельных фундаментов
- Ограничений зоны работы крана и пространства для складирования строительных материалов и изделий
- Скорости возведения, зависящей от технологии монтажа и количества одновременно монтируемых конструкций.

Исследования показывают, что стоимость несущего каркаса составляет, как правило, только 10% от полной стоимости зданий, в то время как влияние принятой конструктивной схемы на фундаменты, инженерные системы и ограждающие конструкции часто является более существенным [1]. По сути проектирование зданий представляет собой синтез архитектурных, конструктивных, инженерно-технических, логистических и технологических задач. Стальные каркасы идеально подходят для современных многоэтажных многофункциональных зданий, как показано на рисунке 1.1.

Стадийность проектирования

Техническое задание заказчика

Экономическая эффективность проекта

Технологическая последовательность производства строительно-монтажных работ

Рациональное использование природных ресурсов и эко-устойчивость строительства



Рисунок 1.1. Современное многофункциональное здание со стальным каркасом

1.1. Стадийность проектирования

Разработка проектной документации в строительстве представляет собой комплексный процесс, состоящий из последовательности взаимосвязанных проектных решений. Проектирование должно начинаться с четкого понимания требований заказчика, а также местных условий и нормативов. Несмотря на сложность взаимосвязи можно установить иерархию стадий проектирования, показанную на рисунке 1.2.

В первую очередь, объемно-планировочные требования будут определять общую форму здания, включая вопросы естественного освещения, вентиляции, а также инженерных систем обслуживания здания. Основными проектными решениями, которые принимаются в согласовании с заказчиком, являются:

- Высота этажа «в чистоте» и общая концепция расположения инженерных систем во взаимосвязи с несущими конструкциями
- Необходимость применения особой конструктивной схемы в общественных зонах и зонах вестибюлей, фойе, коридоров
- Наличие достаточных зазоров между несущими конструкциями и инженерными сетями для возможности их будущей модернизации
- Преимущество использования большепролетных конструкций, которые при незначительных дополнительных затратах позволят существенно улучшить гибкость архитектурных планировок.

На основании задания на проектирование разрабатывается эскизный проект, который затем рассматривается совместно проектной группой и заказчиком. Именно на этом раннем этапе взаимодействия принимаются важные решения, определяющие стоимость и ценность окончательного проекта. На данном этапе проектирования тесное взаимодействие с заказчиком является особенно важным.



Рисунок 1.2. Стадии проектирования

После согласования основных проектных решений выполняется рабочий проект здания и его конструкций, уже без непосредственного взаимодействия с заказчиком. Рабочие чертежи узлов и деталей часто выполняются компанией — изготовителем металлоконструкций или в специализированных проектных бюро, но главный архитектор проекта должен иметь представление о конструкциях этих узлов.

1.2. Техническое задание заказчика

1.2.1. Требования к объемно-планировочным решениям

Требования заказчика изначально могут быть указаны в техническом задании как общие физические параметры здания, например: численность людей в здании и род их деятельности, планировочные модули или строительная высота этажа. Минимальные нагрузки на перекрытия и пределы огнестойкости устанавливаются национальными нормативами, однако заказчик может выдвинуть более высокие требования.

Примеры общих требований заказчика:

Норматив полезной площади на одного человека	10—15 м ²
Отношение полезной площади к общей	80—90%, как правило
Строительная высота этажа	3,6—4,2 м
Высота этажа «в чистоте»	2,7—3 м, как правило
Планировочный модуль	1,2—1,5 м
Полезная нагрузка	2,5—7,5 кПа
Предел огнестойкости	60—120 мин.

Строительная высота этажа – ключевой параметр, зависящий от проектных требований к общей высоте здания, естественному освещению, стоимости ограждающих конструкций и прочих параметров.

1.2.2. Требования к инженерным системам

Заказчик может также установить требования к инженерным системам здания, которые, наряду с вентиляцией, электрическим освещением и другими инженерными сетями, могут регламентировать средства информационных и прочих сетевых коммуникаций. В большинстве городских зданий наличие систем кондиционирования воздуха или систем охлаждения является необходимым, так как уличный шум препятствует использованию естественной вентиляции. В пригородах или сельских районах предпочтительно использовать естественную вентиляцию.

Технические требования к инженерным системам здания, как правило, определяются нормативами той страны, в которой возводится сооружение, в зависимости от внутренней и внешней среды.

Примеры типичных требований заказчика к характеристикам основных инженерных систем здания:

Приток свежего воздуха	8—12 л/сек на человека
Внутренняя температура помещений	22 ± 2 °С
Удельная мощность охлаждения	40—70 Вт/м ²
Теплоизоляция стен	$U < 0,35 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

Кабели слаботочных и телекоммуникационных сетей обычно располагаются под фальшполом для обеспечения удобства обслуживания и возможности будущих модификаций. Другие инженерные коммуникации обычно монтируются под перекрытием, за подвесным потолком. Инженерные сети могут отнимать значительное полезное пространство, поэтому предпочтительно использовать интегрированные решения, такие, как показаны на рисунке 1.3, которые позволяют уменьшить общую высоту перекрытия и горизонтальной разводки инженерных коммуникаций.



Рисунок 1.3. Инженерные сети, проходящие через отверстия перфорированной балки

1.2.3. Нагрузки на перекрытие

Нагрузки на перекрытия указаны в национальных нормативах и в EN 1991-1-1 (Еврокод), и их минимальные значения могут быть повышены требованиями заказчика. Нагрузки на перекрытия имеют три основных составляющих:

- Полезные нагрузки, включая перегородки
- Пол, потолок и инженерные коммуникации
- Собственный вес несущих конструкций.

Полезные нагрузки зависят от функционального назначения здания, а их нормативные значения находятся в пределах от 2,0 кПа до 7,5 кПа, как показано в таблице 1.1, которая представляет собой выдержку из таблицы 6.2 EN 1991-1-1. Значения полезных равномерно распределенных нагрузок на перекрытия берутся из таблиц 6.1 и 6.2 EN 1991-1-1. Параграф 6.3.1.2(8) регламентирует нагрузку от передвижных перегородок от 0,5 кПа до 1,2 кПа. Дополнительные 0,7 кПа, как правило, вводятся для учета нагрузок от потолка, инженерных коммуникаций и фальшпола.

Для обвязочных балок необходимо учесть нагрузку от фасадных конструкций и внутренней отделки, которая варьируется в пределах от 3—5 кН/м для легких фасадных конструкций до 8—10 кН/м для кирпичной кладки и до 10—15 кН/м для сборных железобетонных панелей.

Собственный вес типового композитного сталежелезобетонного перекрытия – 2,8—3,5 кПа, что составляет всего 50% от веса железобетонной плиты толщиной 200 мм. Собственный вес пустотной железобетонной плиты с цементно-песчаной стяжкой при равном пролете обычно составляет 3,5—6,5 кПа.

Типовые величины других нагрузок указаны в таблице 1.2.

Таблица 1.1. Типовые полезные нагрузки в офисных зданиях (кПа)

КАТЕГОРИЯ ПО EN 1991-1-1	ПРИМЕНЕНИЕ	ВРЕМЕННАЯ НАГРУЗКА	ПЕРЕГОРОДКИ	ПОТОЛКИ, ИНЖ. СЕТИ И ДР.
B	Офисы - в общем	2,0 - 3,0	0,5 - 1,2	0,7
C1	Участки со столами	2,0 - 3,0	0,5 - 1,2	0,7
C2	Участки со стационарными рабочими местами	3,0 - 4,0	0,5 - 1,2	0,7
C3	Участки скопления людей	3,0 - 4,0		
C5	Участки большого скопления людей	5,0 - 7,5		

Таблица 1.2. Типичные значения веса строительных конструкций

ЭЛЕМЕНТ	ОБЫЧНЫЙ ВЕС
Ж/б плиты (пролет 6 м, рассчитанные на 5 кПа временной нагрузки)	3,5—4,5 кПа
Композитное перекрытие (с тяжелым бетоном, толщина 140 мм)	2,8—3,5 кПа
Композитное перекрытие (с легким бетоном, толщина 130 мм)	2,1—2,5 кПа
Инженерные сети (освещение)	0,25 кПа
Потолки	0,1 кПа
Стальная конструкция здания (малоэтажная, 2—6 этажей)	35—50 кг/м ²
Стальная конструкция здания (средней этажности, 7—12 этажей)	40—70 кг/м ²

1.2.4. Климатические нагрузки

Полезная нагрузка на покрытие принимается в соответствии с EN1991-1-1 и обычно составляет 0,4 или 0,6 кПа, а снеговые нагрузки на покрытие — в соответствии с EN1991-1-1.

Руководство по расчету ветровых нагрузок представлено в EN1991-1-4.

Проектные вопросы, связанные с определением климатических нагрузок, детально обсуждаются в другой части данной серии публикаций [2].

1.3. Экономическая эффективность проекта

1.3.1. Стоимость строительства	<p>Стоимость строительства типичного офисного здания распределяется примерно следующим образом [1]:</p> <table> <tr> <td>Фундаменты</td> <td>5—15%</td> </tr> <tr> <td>Каркас и перекрытия</td> <td>10—15%</td> </tr> <tr> <td>Фасад и кровля</td> <td>15—25%</td> </tr> <tr> <td>Системы тепло- и электроснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха</td> <td>15—25%</td> </tr> <tr> <td>Санитарно-технические системы</td> <td>5—10%</td> </tr> <tr> <td>Отделка, перегородки и оборудование</td> <td>10—20%</td> </tr> <tr> <td>Подготовительные работы по организации стройплощадки</td> <td>10—15%</td> </tr> </table>	Фундаменты	5—15%	Каркас и перекрытия	10—15%	Фасад и кровля	15—25%	Системы тепло- и электроснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха	15—25%	Санитарно-технические системы	5—10%	Отделка, перегородки и оборудование	10—20%	Подготовительные работы по организации стройплощадки	10—15%
Фундаменты	5—15%														
Каркас и перекрытия	10—15%														
Фасад и кровля	15—25%														
Системы тепло- и электроснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха	15—25%														
Санитарно-технические системы	5—10%														
Отделка, перегородки и оборудование	10—20%														
Подготовительные работы по организации стройплощадки	10—15%														

Затраты на подготовительные работы отражают расходы на организацию и управление строительной площадкой, включая подъемные механизмы, места складирования и оборудование. Затраты на организацию строительной площадки могут различаться в зависимости от масштаба проекта. Для зданий с использованием стальных конструкций эта цифра составляет 15% от общей стоимости, а при высокой заводской готовности конструкций она может снижаться до 12%. Стоимость надземной части несущего каркаса редко превосходит 10% от полной стоимости, но она оказывает значительное влияние на другие расходы. Например, сокращение высоты перекрытия на 100 мм может привести к экономии в 2,5% стоимости фасадов, что соответствует экономии в 0,5% от общей стоимости строительства.

1.3.2. Преимущества стального строительства

Стальные здания обладают рядом преимуществ, а именно:

- Большепролетные бесколонные внутренние пространства, обеспечивающие значительную гибкость архитектурно-функционального зонирования
- Простота расширения здания в будущем и адаптируемость архитектурно-планировочных решений, в том числе при замене инженерных сетей
- Большой выбор решений кровельных и фасадных систем
- Долгий проектный срок эксплуатации здания и легкость его технического обслуживания
- Энергоэффективность.

Все эти преимущества использования металлоконструкций подробно рассматриваются в разделе 2.

1.3.3. Эксплуатационные расходы

По оценкам, общая сумма расходов на эксплуатацию здания со сроком службы 60 лет может превышать затраты на строительство в 3—5 раз. Наиболее важными составляющими долгосрочных затрат являются:

- Прямые расходы на отопление, освещение, кондиционирование воздуха
- Обновление интерьера, небольшие отделочные работы каждые 3—5 лет, капитальный ремонт каждые 10—20 лет
- Замена инженерных сетей, приблизительно каждые 15—20 лет
- Возможная замена фасада здания каждые 25—30 лет.

Европейская директива об энергосбережении в зданиях теперь требует, чтобы офисные здания имели энергопаспорт, который регламентирует использование энергии и определяет меры по энергосбережению. Проектирование многих современных зданий выполняется с учетом энергосберегающих мероприятий, включая двойные фасады, повышение теплоемкости здания, вентшахты для естественной вентиляции, солнечные панели на крышах.

1.4. Технологическая последовательность производства строительного-монтажных работ

На рисунке 4.1 показана типовая технологическая последовательность производства строительного-монтажных работ при строительстве офисного здания средних размеров. Одно из преимуществ стального строительства заключается в том, что подготовительный период организации строительной площадки и устройства фундаментов предоставляют достаточно времени для заводского изготовления металлоконструкций в виде комплекта деталей. Такой подход также известен под названием fast track.

Монтаж каркаса и перекрытий занимает примерно 20—25% от общего времени строительства, однако завершение этого этапа уже позволяет начать монтаж фасадных систем и прокладку инженерных сетей. Стальное строительство имеет значительные преимущества в темпах строительства, благодаря использованию конструкций высокой заводской готовности и отсутствию «мокрых процессов».

В среднем в строительных проектах на этапе возведения экономия на использовании стальных каркасов относительно других материалов может составлять 5—15%, в зависимости от степени заводской готовности конструкций. Основное технологическое преимущество по сравнению с бетонными – это создание водонепроницаемой внешней оболочки здания на начальных этапах строительства. Финансовыми выгодами от сокращения сроков строительства являются:

- Экономия на организации строительной площадки
- Выгода от высокой производительности до конца строительства
- Пониженные суммы процентных выплат
- Более раннее получение дохода от введенного в строй объекта.

Обычно экономия на ускоренных темпах строительства составляет 2—4% от общей стоимости строительства, то есть значительную часть от стоимости возведения каркаса. Кроме того, при расширении и реконструкции существующих зданий скорость строительства и уменьшение неудобств, причиняемых жильцам соседних зданий, становятся еще более важными.

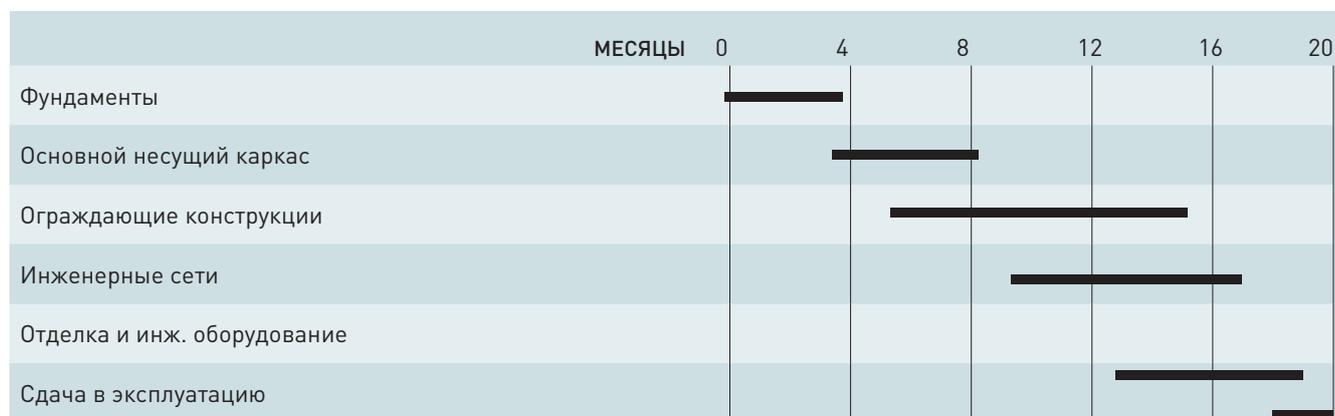


Рисунок 1.4. Последовательность и продолжительность работ при строительстве типового 4—6 этажного офисного здания со стальным каркасом

1.5. Рациональное использование природных ресурсов и экоустойчивость строительства

Экоустойчивое («зеленое») строительство должно отвечать трем критериям:

- Экологичность
- Экономичность
- Надежность и безопасность.

Строительство зданий с применением металлоконструкций удовлетворяет всем трем критериям.

Экологичность

Сталь – один из наиболее восстанавливаемых и перерабатываемых материалов. Около 84% использованной стали перерабатывается без потерь в прочности и качестве и 10% используется повторно. В целом, более длительный период эксплуатации сооружения до его сноса и утилизации является выгодным. Применение стальных конструкций способствует увеличению срока службы здания, так как большие пролеты допускают гибкую планировку и изменение его назначения. Помимо этого, развитие технологий производства сырья для стали способствует уменьшению расхода воды и энергии, а также значительному снижению уровня шума и выбросов вредных частиц и углекислого газа в производственных процессах.

Экономичность

Стальной каркас легко связывает все конструктивные элементы в единую систему. Стальные строительные материалы, конструкции и изделия производятся, изготавливаются и монтируются с использованием эффективных современных технологий. Использование материала высоко оптимизировано, а отходы практически исключены. Здания и сооружения, построенные с применением металлоконструкций, эксплуатируются во всех областях экономики (включая логистику, торговлю, бизнес, производство), создавая инфраструктуру, необходимую для ее нормального функционирования. Использование стального каркаса в строительстве зданий обеспечивает низкую стоимость инвестиций, оптимальные затраты на эксплуатацию и исключительную гибкость объемно-планировочных решений, а также высокое качество, функциональность, эстетичный вид и высокую скорость строительства.

Надежность и безопасность

Благодаря высокой степени заводской готовности конструкций рабочие условия на строительной площадке становятся более безопасными, управляемыми и независимыми от погодных условий. Постоянное местоположение объекта способствует развитию общественных отношений работников, улучшению условий их семейной жизни и повышению квалификации. Сталь не выделяет вредных веществ в окружающую среду, а здания со стальным каркасом надежны и безопасны.

Многоэтажные здания

Проектирование многоэтажных зданий все в большей степени подчиняется критериям экоустойчивости:

- Наличие ответственных поставщиков материалов и их эффективное использование в строительстве
- Исключение отходов материалов при производстве и строительстве
- Повышение энергоэффективности эксплуатации здания, в том числе за счет улучшения его герметичности
- Снижение водопотребления
- Повышение уровня комфортности помещений
- Комплексный подход к решению градостроительных и организационных вопросов, таких как общественный транспорт, эстетичный внешний вид и бережное отношение к окружающей среде.

Здания со стальным несущим каркасом проектируются с учетом всех этих критериев. Вот некоторые общепризнанные преимущества стали с точки зрения экоустойчивости:

- Стальные конструкции прочны и долговечны. При правильном изготовлении и обслуживании стальные конструкции могут использоваться неограниченно долго
- Около 10% стального проката используется повторно [3]
- 95% строительной стали подлежит переработке и повторному использованию
- В случае необходимости стальные конструкции могут быть демонтированы и использованы повторно, в особенности стальные рамы и модульные элементы
- Стальные конструкции имеют малый вес и могут быть использованы при строительстве на слабом грунте или над туннелями
- Высокая технологичность процессов производства стали
- Вторичная переработка, отсутствие отходов на строительной площадке
- Строительство на основе стального каркаса дает возможность легко осуществлять перепланировку, расширение и смену назначения здания
- Применение металлоконструкций при изготовлении и устройстве фасадов и покрытий обеспечивает высокий уровень теплоизоляции зданий
- Стальные конструктивные системы заводской готовности являются быстровозводимыми и намного более безопасны в процессе монтажа
- Стальные элементы конструкции безопасны при монтаже и позволяют легко крепить элементы безопасности, например, установленные заранее защитные ограждения, как показано на рисунке 1.5.

В разных европейских странах существуют различные методики оценки экоустойчивости [4]. Национальные строительные нормативы регламентируют минимальные уровни энергоэффективности зданий. В большинстве многоэтажных зданий предусмотрена защита от солнечной радиации и реализованы технологии преобразования возобновляемой энергии – солнечные батареи (рисунок 1.6).

Необходимая теплоемкость здания может быть достигнута за счет использования композитных перекрытий. Исследования показали, что толщина плиты перекрытия, достаточная для аккумуляции тепловой энергии [5], составляет всего 50—70 мм.



Рисунок 1.5. Сборные защитные ограждения по периметру стального каркаса



Рисунок 1.6. «Зеленая» крыша и солнечные батареи, установленные на кровле офисного здания в центре города

2 Преимущества стального строительства

В строительстве многоэтажных зданий преимущества использования стальных несущих конструкций проявляются во многом благодаря методике fast track (параллельное проектирование и строительство), которая приводит к снижению как материальных, так и временных затрат. Применение современных технологий в строительстве сделало эти преимущества еще более весомыми за счет повышенной эффективности и производительности. Это крайне важно при возведении сооружений в районах плотной городской застройки, так как возможности размещения площадок складирования материалов, временных сооружений и временных дорог, а также планировочные решения самого объекта строительства весьма ограничены. В таких случаях необходимо повышать степень заводской готовности конструкций в целях уменьшения объема работ на стройплощадке.

Использование стальных конструкций при строительстве многоэтажных зданий является эффективным благодаря заводской готовности стальных изделий, относительно небольшого веса стального каркаса, а также возможности выполнения строительно-монтажных работ параллельными потоками. Эти преимущества рассматриваются в следующих разделах

2.1. Высокая скорость монтажа металлоконструкций

Высокая скорость монтажа — главное преимущество использования стальных конструкций, способствующее повышению финансовой, организационной и управленческой эффективности такого типа строительства. Например, восьмиэтажное офисное здание со стальными вертикальными несущими конструкциями возводится до 20% быстрее, чем железобетонное. Но еще более важно то, что полный стальной каркас со стальными перекрытиями возводится до 40% быстрее, что позволяет начать раньше монтаж внутренних инженерных сетей, ограждающих конструкций, оборудования и другие работы. Высокая скорость основана на комплексном использовании стальных рам, перекрытий по стальному профнастилу и, в некоторых случаях, бетонных или стальных ядер жесткости, как показано на рисунке 2.1.

Экономический эффект скоростного строительства может выражаться в следующем:

- Более ранняя сдача объекта в эксплуатацию, что приводит к снижению процентных выплат и более ранней окупаемости инвестиций
- Снижение оттока оборотных средств
- Снижение стоимости управленческого аппарата благодаря сокращению сроков строительства, а также за счет меньшей численности рабочих на стройплощадке
- Снижение затрат на временные сооружения стройплощадки
- Большая определенность и снижение рисков капитальных вложений.

Высокая скорость монтажа металлоконструкций

Технология производства работ

Большепролетные конструкции и монтаж инженерных коммуникаций

Низкий собственный вес металлоконструкций и эффективное использование материалов

Гибкость архитектурно-планировочных решений внутреннего пространства здания



Рисунок 2.1. Высокий темп монтажа стального каркаса и перекрытий увеличивает скорость возведения здания

2.2. Технология производства работ

Высокая скорость возведения здания достигается монтажом «с колес» и быстрой сборкой доставляемых элементов каркаса. По оценкам, одним башенным краном можно установить до 20 элементов металлоконструкций в день – это примерно 300 м² по площади.

Технологическими преимуществами использования металлокаркаса являются:

- Пакетное складирование стального профнастила и его монтаж со скоростью до 500 м² в день
- Отсутствие необходимости установки временных стоек при использовании профнастила пролетом около 3–4 м при его высоте 50–80 мм
- Нанесение вспучивающихся огнезащитных покрытий в заводских условиях, что экономит время в сравнении с проведением таких работ на стройплощадке
- Возможности снижения объема огнезащитных материалов за счет проведения расчетов на огнестойкость
- Использование мобильных подъемных рабочих платформ для повышения безопасности и увеличения скорости монтажа (рисунок 2.2)
- Применение лестничных маршей заводского изготовления как цельной монтажной единицы
- Установка защитных ограждений вдоль обвязочных балок (см. рисунок 1.5)
- Быстрое бетонирование перекрытий до 1000 м² в день при толщине плиты 130 мм
- Использование быстровозводимых легких каркасных стен и перегородок высокой заводской готовности
- Возможность использования готовых модульных элементов.

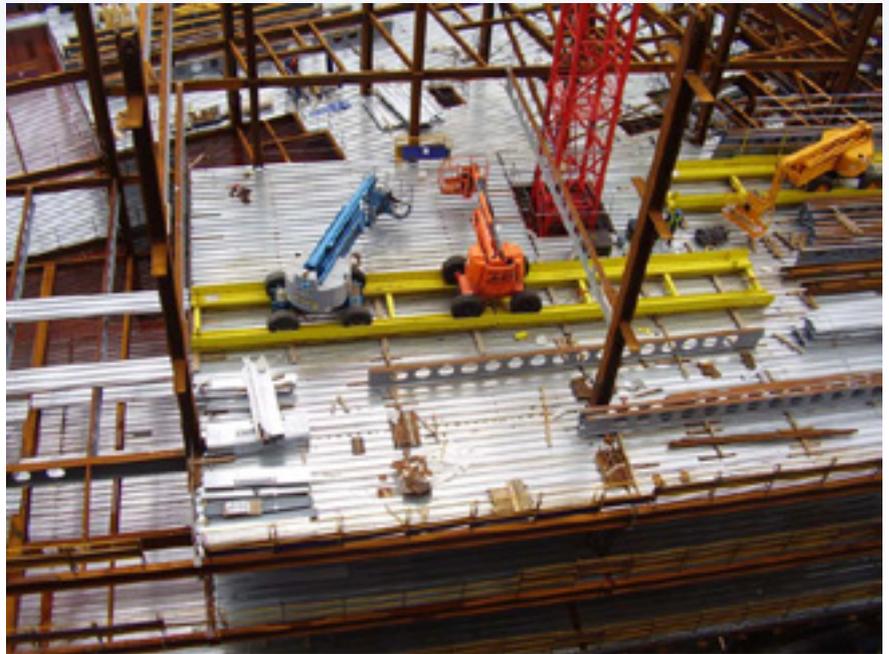


Рисунок 2.2. Мобильные подъемные рабочие платформы используются для увеличения скорости и безопасности монтажных работ

2.3. Большепролетные конструкции и монтаж инженерных коммуникаций

Существует два варианта расположения инженерных сетей здания относительно основных несущих конструкций перекрытия здания, а именно:

- Проектирование перекрытий минимальной толщины с последующей прокладкой инженерных коммуникаций под перекрытием
- Использование балок с перфорированной стенкой или устройство специальных отверстий в стенках балок для устройства инженерных коммуникаций в пределах высоты перекрытия.

Применение большепролетных конструкций позволяет избежать установки промежуточных колонн и обеспечивает гибкость планировки внутреннего пространства и его легкую адаптируемость при изменении назначения здания. Технологии стального строительства позволяют легко перекрывать пролеты в 12—18 метров.

Минимальная толщина междуэтажного перекрытия может быть достигнута за счет использования встроенных балок, максимальный пролет которых составляет около 9 м. Для прокладки инженерных коммуникаций в пределах толщины перекрытия наиболее удобно использовать следующие виды несущих конструкций:

- Сварные перфорированные балки с круглыми отверстиями, как показано на рисунке 1.3
- Прокатные или сварные балки с отверстиями (часто имеющими прямоугольную форму), как показано на рисунке 2.3
- Фермы или другие стержневые конструкции.

В офисных зданиях общая высота междуэтажного перекрытия с учетом инженерных коммуникаций обычно составляет 800—1200 мм. В проектах реконструкции зданий, где сохраняется первоначальный фасад, могут быть использованы системы перекрытий со встроенными балками, позволяющие снизить общую высоту перекрытия до 600 мм.

Экономический эффект при использовании большепролетных конструкций заключается в следующем:

- В снижении общей высоты конструкции фасада (до 300 мм на этаж)
- В меньшем количестве промежуточных колонн и увеличении полезной площади (до 3% планировочной площади)
- В уменьшении количества монтируемых стальных элементов (до 25%)
- В возможности расположения колонн только вдоль фасада по периметру здания
- В простоте прокладки инженерных сетей и их будущего технического обслуживания
- В универсальности архитектурно-функционального зонирования внутреннего пространства и простоте выполнения перепланировок.



Рисунок 2.3. Прямоугольные отверстия в композитных балках для прокладки инженерных коммуникаций

2.4. Низкий собственный вес и эффективное использование материалов

Стальные конструкции любого типа отличаются своим небольшим весом, даже в сочетании с бетонными плитами перекрытий. Собственный вес композитного перекрытия обычно на 60% меньше собственного веса такого же по площади железобетонного перекрытия. Что касается общей массы надземной части, то здания со стальным каркасом до 30% легче аналогичных железобетонных, а это приводит к существенной экономии при устройстве фундаментов.

Кроме того, применение стальных конструкций является особенно эффективным в следующих случаях:

- При строительстве в местах бывшей застройки (промзоны и т.д.), зачастую с использованием существующих фундаментов
- При возведении зданий над подземными коммуникациями или тоннелями
- При выполнении строительно-монтажных работ над железнодорожными путями и в других сооружениях «подъемного» типа.

Стальное строительство является практически безотходным благодаря технологии производства стальных конструкций, а также возможности их переработки и повторного использования. Другие сопутствующие материалы, используемые в стальном строительстве, такие как гипсокартон, также могут быть переработаны.

2.5. Гибкость архитектурно-планировочных решений внутреннего пространства здания

Функциональное назначение многоэтажных зданий может значительно меняться в течение срока их эксплуатации, так же как и архитектурное зонирование внутреннего пространства. Все больше зданий меняет свое функциональное назначение, например, в Европе появилась тенденция к перепланировке офисных зданий в жилые.

В 60-е и 70-е годы многие здания были построены из расчета минимальной стоимости, и возможность их дальнейшей реконструкции не предусматривалась. Эти здания перестали удовлетворять изменившимся нуждам потребителей, что привело к их раннему сносу.

Достаточно сложно предусмотреть все возможные варианты использования здания и отразить их уже на стадии разработки архитектурной концепции. Однако существуют принципиальные подходы к проектированию конструкций, позволяющие обеспечить адаптируемость проекта к различным требованиям в соответствии с изменением функционального назначения:

- Применение большепролетных конструкций, обеспечивающих возможность свободной планировки
- Обеспечение зон для устройства дополнительных инженерных коммуникаций
- Учет возможных дополнительных нагрузок.

3 Примеры многоэтажных зданий со стальным каркасом

Ниже приведены примеры использования металлоконструкций при строительстве офисных многоэтажных зданий, однако аналогичные технологии применяются и для жилых объектов.

3.1. Офисное здание Bishop Square, Лондон



Рисунок 3.1. Офисное здание Bishop's Square, Лондон

Частью проекта Bishop's Square около делового района Broadgate в Лондоне является офисное здание, композитное перекрытие которого обеспечивает свободный пролет в 18 м, а высота балок перекрытия составляет всего 650 мм. Здание имеет полностью остекленный фасад, а также озелененную кровлю, расположенную в трех уровнях. Завершенное здание показано на рисунке 3.1, а процесс возведения — на рисунке 3.2.

Высота здания составляет 12 этажей, общая полезная площадь – около 80 тыс. м², общая масса металлических конструкций – около 9500 т. Здание было полностью возведено за 30 недель, значительно опередив первоначальный 20-месячный план. Вспучивающиеся огнезащитные покрытия были нанесены в заводских условиях, что ускорило последующие работы на стройплощадке.

Сплошное остекление фасада было разработано с учетом условий по контролю инсоляции, для чего использовались двухкамерные стеклопакеты со встроенными жалюзи. Для обеспечения электроэнергией систем освещения были установлены кровельные солнечные панели, что снизило общие расходы на эксплуатацию здания и выбросы CO₂.

Строительная высота этажа составляет всего 3,9 м, высота балок перекрытия – 650 мм (общая высота перекрытия 1050 мм). 9-метровые главные балки с прямоугольными отверстиями и сужающимся сечением около бетонных ядер жесткости обеспечивают пространство для трубопроводов и воздуховодов большого сечений.

Офисное здание Bishop Square, Лондон

Le Seguana, Париж

Торговая палата в Люксембурге

Многофункциональный офисный комплекс «Кингс-Плас» в районе Кингс-Кросс в Лондоне

Штаб-квартира компании Kone, Хельсинки

Центр металлоконструкций «Арселор-Миттал», Льеж

Второстепенные сварные балки имеют составное сечение с круглыми отверстиями диаметром 425 мм, также два прямоугольных отверстия 425 × 750 мм в середине пролета. Допустимый прогиб от полезной нагрузки 30 мм обеспечивается при отсутствии ребер жесткости а собственная масса погонного метра балок составляет всего 138 кг.



Рисунок 3.2. Большепролетные перфорированные балки в проекте Bishop's Square

3.2. Le Seguana, Париж

Le Seguana представляет собой офисный комплекс общей площадью 25 тыс. м², расположенный на берегу Сены в Париже, как показано на рисунке 3.3. Здание имеет сетку колонн 18 x 36 м. Системы кондиционирования полностью обеспечивают воздухом весь внутренний объем здания. Строительство здания длилось 22 месяца и было завершено в срок, не превысив бюджет финансирования, при этом монтаж 2000 т металлоконструкций занял всего 12 недель.



Рисунок 3.3. Здания комплекса Le Seguana в процессе возведения

Устойчивость зданий обеспечивают стальные и железобетонные ядра жесткости, для бетонирования которых использовалась скользящая опалубка.

Частью решений по вентиляции здания являлось обеспечение местного кондиционирования воздуха на каждые 12 м² пространства. Для этого требовалось большое количество воздуховодов, которые были проложены через отверстия перфорированных балок, как показано на рисунке.

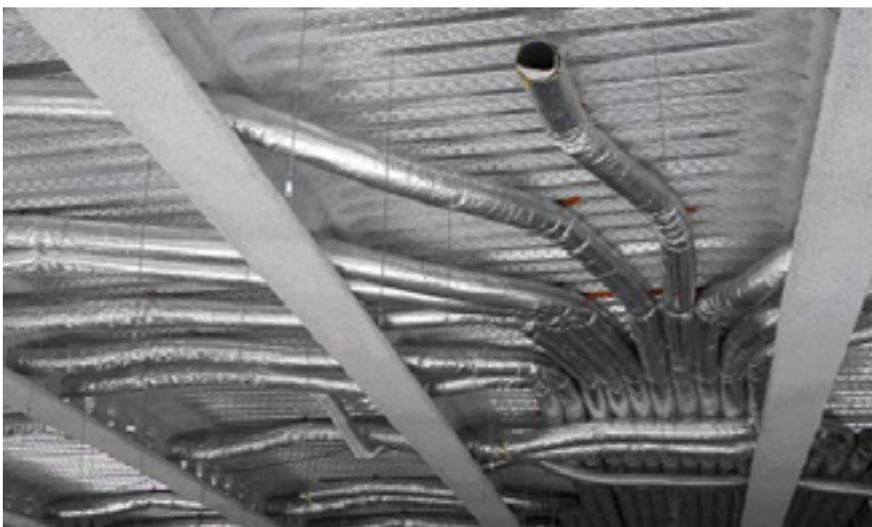


Рисунок 3.4. Воздуховоды, выходящие из технического помещения, обеспечивают регулировку комфортных параметров воздуха в отдельных помещениях

3.3. Торговая палата в Люксембурге



Рисунок 3.5. Торговая палата в Люксембурге

Проект здания торговой палаты Люксембурга был разработан компанией Vasconi Architectes и включал в себя реконструкцию существующего здания и создание дополнительных 20 тыс. м² офисного пространства (рисунок 3.5). В здании размещен конференц-центр площадью в 8 тыс. м² и четырехуровневый подземный паркинг на 650 машино-мест. Общая площадь здания составляет 52 тыс. м², включая парковку.

Основной несущий каркас 4-5-этажной надземной части здания состоит из колонн и композитных сталежелезобетонных перекрытий, выполненных из железобетонных плит, опирающихся на широкие нижние полки прокатных неравнополочных двутавровых балок.

Установленные под балками легкие стальные фермы способствовали значительному увеличению жесткости конструкции перекрытия, что позволило увеличить пролет на 40%. Инженерные коммуникации проходят под балками через фермы для увеличения полезной высоты помещений.

Проведенные инженерные расчеты огнестойкости доказали, что несущие конструкции имеют предел огнестойкости 60 мин. без использования дополнительных огнезащитных материалов. Двутавровые балки перекрытия частично защищены от огня железобетонными плитами и могут воспринимать уменьшенную нагрузку в случае потери несущей способности фермы при пожаре.

3.4. Многофункциональный офисный комплекс «Кингс Плас» в районе Кингс-Кросс в Лондоне



Рисунок 3.6. Здание «Кингс Плас» в процессе возведения

«Кингс Плас» – это многофункциональный комплекс, который состоит из семи этажей офисного пространства, концертного зала на 420 мест, ряда художественных галерей и ресторанов. В цокольном этаже находятся аудитория и актовые залы.

Основной несущий каркас здания многофункционального назначения выполнен из композитных сталежелезобетонных конструкций с большепролетными композитными перекрытиями (рисунок 3.6). Перекрытия состоят из 12-метровых сварных перфорированных балок и монолитной железобетонной плиты толщиной 130 мм, которые в некоторых местах опираются на полочки из уголков (рисунок 3.7).

Одним из проектных решений являлось применение новой методики обеспечения пожаробезопасности: нанесение вспучивающихся огнезащитных покрытий только на ригели, оставляя балки перекрытий без специальной защиты, что вполне гарантировало 90-минутную огнестойкость. Огнезащита колонн была выполнена двумя слоями гипсокартона. В конструкции перекрытия использованы большепролетные перфорированные балки высотой 600 мм с отверстиями в 375 мм. Расчеты железобетонной плиты на огнестойкость были выполнены с учетом влияния распора, возникающего в плитах в случае потери несущей способности балок при пожаре.

1,6-миллиметровый слой огнезащитного покрытия наносился на ригели в заводских условиях, что ускорило монтаж. Покрытие наносилось в один слой, но балки проектировались с небольшим увеличением поперечного сечения, чтобы обеспечить дополнительное сопротивление нагрузкам при пожаре. Такое комплексное конструктивное решение прошло проверку с испытанием конечноэлементной модели перекрытия, в которой параметры стали и бетона были заданы с учетом влияния температур, соответствующим стандартным и естественным испытаниям на огнестойкость. Модель рассчитывалась на пожарные нагрузки с учетом вентиляции данного здания.



Рисунок 3.7. Различные виды балок в здании «Кингс Плас»

3.5. Штаб-квартира компании Kone, Хельсинки



Рисунок 3.8. Штаб-квартира Kone в процессе возведения и в завершённом виде

В конструкции 18-этажного здания штаб-квартиры Kone в Эспоо столичного региона Хельсинки использовались композитные перекрытия, фасад имеет сплошное остекление. Общая площадь перекрытий составляет 9800 м². Пространственная жесткость каркаса здания обеспечивается железобетонным ядром жесткости, расположенном на южной стороне здания (рисунок 3.8).

Новой технологией в строительстве здания являлась установка сборных панелей композитного перекрытия (рисунок 3.9). Пролет ригелей составляет 12,1 м, а пролет балок перекрытия – 8,1 м. Количество промежуточных колонн минимальное.

Восточная и западная стены здания облицованы стеклянными панелями высотой в этаж. Вся внешняя ограждающая конструкция выполнена как «двойной фасад», который предусматривает тонированное остекление и обеспечивает необходимую теплоизоляцию. Бетонное ядро жесткости, расположенное с южной стороны, служит для уменьшения нагрева от солнечного света.



Рисунок 3.9. Сборная панель композитного перекрытия

3.6. Центр металлоконструкций «Арселор-Миттал», Льеж



Рисунок 3.10. Перфорированные балки в конструкции здания Arcelor Mittal

Пятиэтажный Центр стали в Льеже, Бельгия, – офисное здание, построенное с использованием самых современных технологий в сфере энергоэффективности. Размеры всего здания в плане: 16 × 80 м. Ось промежуточных колонн немного смещена от центра, в результате чего поперечные балки имеют пролеты 9 и 7 м. Девятиметровые балки перекрытий высотой 500 мм расположены шагом в 3 м. В качестве балок перекрытия используются перфорированные двутавры сечения IPE 330 или IPE 300 (в соответствии с европейским сортаментом) с круглыми отверстиями диаметром 400 мм (рисунок 3.10). Девятиметровые ригели такой же высоты имеют двутавровое сечение HEB 320 или HEA 320.

Проведенный пожаротехнический расчет подтвердил отказ от применения огнезащитных покрытий балок, за исключением ригелей. Колонны, выполненные в виде круглых стальных труб, заполненных бетоном, обладают необходимой огнестойкостью без затрат на дополнительные меры по огнезащите.

Фундамент здания свайный, так как сооружение располагается в бывшей промышленной зоне, с плохими инженерно-геологическими условиями. Однако небольшой собственный вес здания (менее 350 кг на м²) и светопрозрачный фасад минимизируют нагрузки на фундамент.

4 Основные аспекты конструктивных решений проекта

При проектировании здания необходимо принимать решения по ряду принципиальных вопросов:

- Конструктивной схеме перекрытий
- Высоте здания
- Зонах коммуникаций и доступа в здание
- Требований к инженерным системам и способам их прокладки.

Принципиальные подходы к решению этих вопросов описаны ниже.

4.1. Компонировка сетки колонн

Конструкции балочных перекрытий определяют шаг колонн во взаимно перпендикулярных направлениях, который зависит от:

- Планировочной сетки (основанной на модуле 300 мм, но обычно принимаемой кратной 0,6 м, 1,2 м или 1,5 м)
- Расстояния между колоннами вдоль фасада, зависящего от материала фасада (обычно от 5,4 м до 7,5 м)
- Использования внутреннего пространства (отдельные помещения или открытая планировка)
- Требований к разводке инженерных сетей здания (от ядра здания).

Вдоль линии фасада расстояние между колоннами обычно определяется необходимостью обеспечения поддержки фасадных конструкций (например, для кирпичной кладки расстояние между колоннами обычно не должно превышать 6 м). Это расстояние определяет шаг внутренних колонн в том случае, если вдоль линии фасада не используются дополнительные колонны.

Пролет балок в направлении поперечных осей здания обычно подчиняется одной из следующих планировочных схем:

- Используется один ряд внутренних колонн вдоль линии центрального коридора. Эта схема показана на рисунке 4.1
- Два ряда колонн располагаются по обеим сторонам коридора
- Внутреннее пространство свободно от колонн, которые располагаются вдоль линии фасада.

При естественной вентиляции офисных помещений ширина здания обычно принимается равной 12 или 15 м, что достигается использованием двух пролетов длиной 6 или 7,5 м соответственно. Можно также использовать один пролет с перекрытием в виде сборных предварительно напряженных ребристых или пустотных железобетонных плит с длиной, равной ширине здания. При выборе пролета плиты перекрытия имеет также значение естественное освещение помещений.

Однако в современных зданиях большие пролеты позволяют достичь гибкости планировочных решений. В зданиях с кондиционированными офисными помещениями часто используются открытые пролеты от 15 до 18 м. На рисунке 4.2 приведен пример сетки колонн при большепролетной схеме в здании с большим атриумом.

Компоновка сетки колонн

Назначение основных размеров

Обеспечение пространственной неизменяемости конструктивной системы

Колонны

Конструктивные системы перекрытий

Факторы, влияющие на конструктивную схему

Координация конструктивных решений с инженерными системами здания

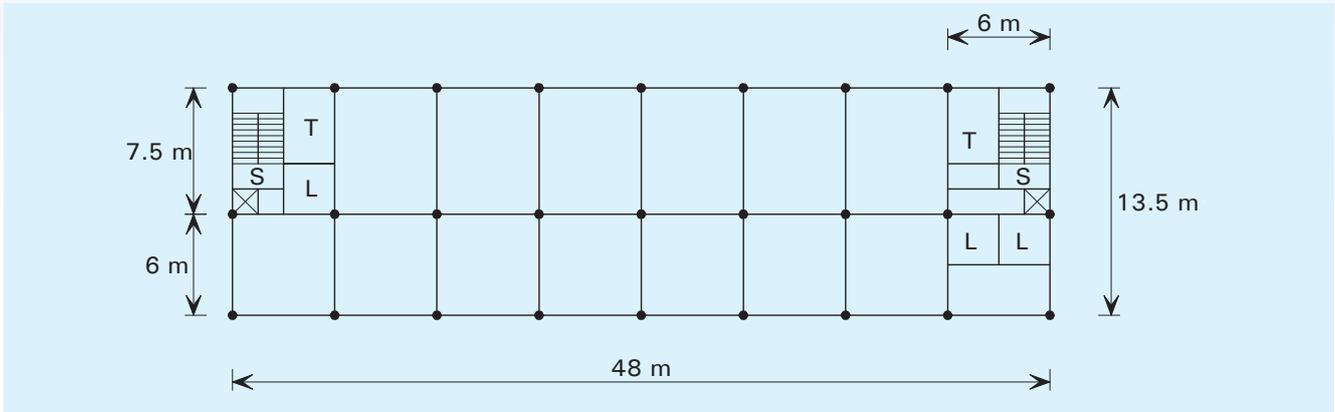


Рисунок 4.1. *Сетка колонн здания с естественной вентиляцией помещений
L – лифт; S – лестничные клетки; T – туалеты*

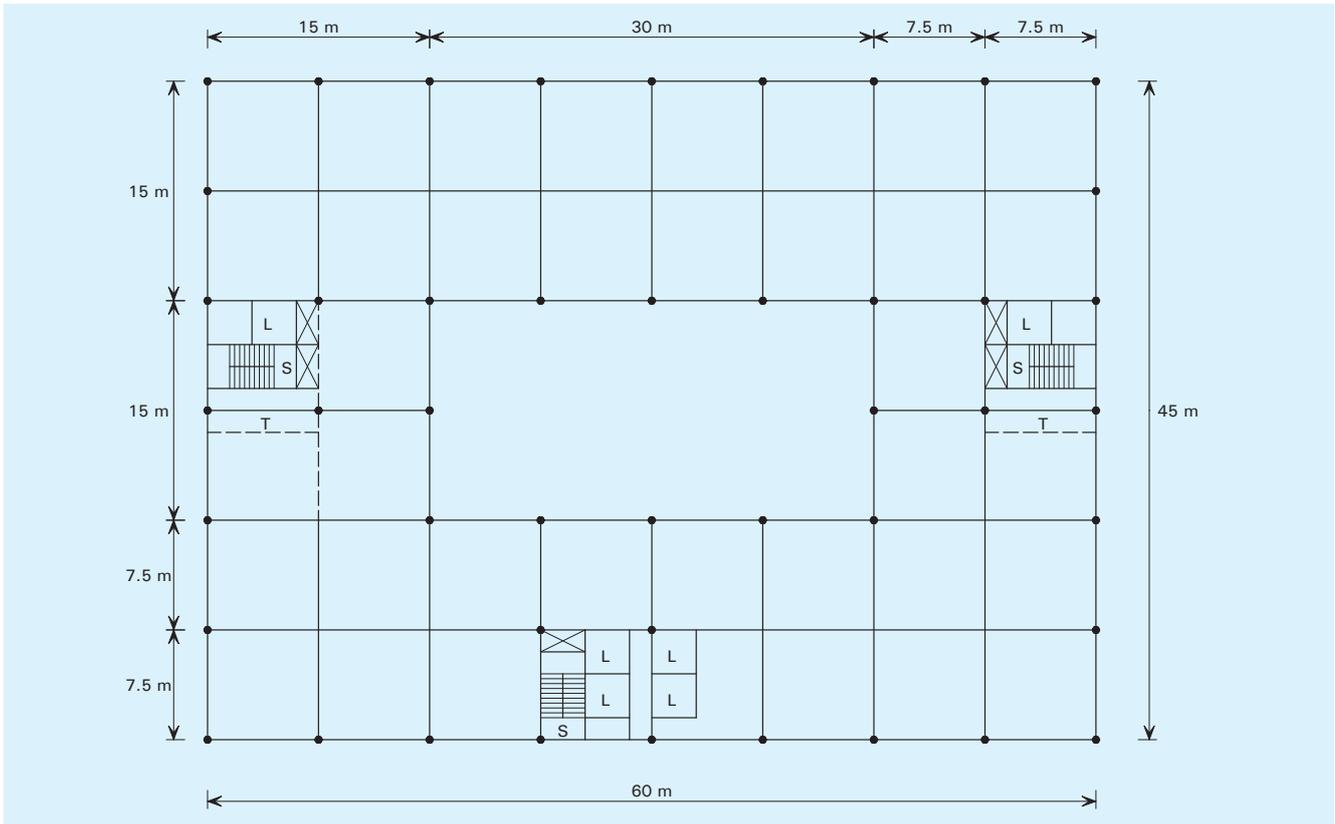


Рисунок 4.2. *Сетка колонн для большепролетного перекрытия в здании с кондиционированием воздуха
в офисных помещениях
L – лифт; S – лестничные клетки; T – туалеты*

4.2. Назначение основных размеров

Выбор основной формы здания является обязанностью архитектора, при этом принимаются во внимание такие факторы, как план площадки застройки, доступ, ориентация здания, парковки, благоустройство и местные нормативные требования к планировке. При выборе конструктивной системы нужно руководствоваться следующими основными правилами:

- Расстояние между источниками естественного освещения должно быть от 13,5 до 20 м.
- Зоны естественного освещения и вентиляции распространяются на расстояние от их источника, равное двум высотам помещения от пола до потолка, а в прочих зонах необходимы искусственное освещение и вентиляция.
- Атриумы повышают эффективность использования здания и сокращают текущие расходы.

4.2.1. Влияние высоты здания

Высота здания оказывает значительное влияние на следующие характеристики здания:

- Принятую конструктивную систему
- Конструкцию фундаментов
- Противопожарные требования и требования к путям эвакуации
- Требования к вертикальным коммуникациям (лифты) и зонам людских потоков
- Выбор фасадной системы
- Скорость и быстроту производства строительно-монтажных работ.

В центральной части зданий повышенной этажности обычно устраиваются ядра жесткости, выполняемые из железобетона или стальных связевых диафрагм. Высотные здания нуждаются в устройстве специальных конструктивных систем, обеспечивающих их жесткость и неизменяемость, но такие здания не рассматриваются в настоящем пособии.

Размеры лифтов и скорость их движения также являются важными факторами для зданий повышенной этажности.

В зависимости от требований нормативных документов, регламентирующих пожарную безопасность зданий в отдельной стране, в зданиях свыше восьми этажей (высотой приблизительно 30 м) может потребоваться установка системы пожаротушения, оборудованной оросителями (спринклерами).

4.2.2. Горизонтальная компоновка

Горизонтальная компоновка определяется необходимостью выделения в плане зон вертикальных коммуникаций, путей безопасной эвакуации при пожаре и зон вертикальной прокладки и разводки инженерных сетей. Расположение лифтовых шахт и шахт технического оборудования зависит от следующих факторов:

- Систем горизонтальной разводки инженерных сетей
- Требований пожарной безопасности, которые могут определять пути эвакуации и размеры пожарных отсеков
- Необходимости эффективного размещения в плане систем обеспечения жесткости и неизменяемости здания (связей и ядер жесткости).

На рисунках 4.1 и 4.2 показаны типичные примеры компоновки, удовлетворяющие перечисленным критериям. Устройство атриума позволяет улучшить освещенность и обеспечить коммуникационные зоны повышенной комфортности на нижнем и промежуточных этажах. Требования к проектированию атриумов включают:

- Устройство большепролетной несущей конструкции покрытия атриума
- Обеспечение путей доступа для людских потоков
- Обеспечение мер пожарной безопасности путем установки систем дымоудаления и безопасных путей эвакуации
- Обеспечение освещенности и инженерных коммуникаций во внутренних помещениях.

4.2.3. Вертикальная компоновка

Проектная высота этажа (от пола нижележащего этажа до пола вышележащего этажа) основывается на высоте помещения «от пола до потолка» от 2,5 до 2,7 м для офисов экономкласса или 3 м – для более престижных помещений, плюс толщина перекрытия, включая инженерное оборудование. На стадии эскизного проекта может приниматься следующая высота этажа:

Престижные офисы	4–4,2 м
Офисы экономкласса	3,6–4,0 м
Офисы в реконструируемых зданиях	3,5–3,9 м

Эти ориентировочные показатели допускают целый ряд конструктивных решений. Если по соображениям градостроительного планирования необходимо ограничить высоту здания, то возможно использование перекрытий со встроенными балками. Перекрытия со встроенными балками часто используются при реконструкции зданий, когда высота этажа должна соответствовать существующим конструкциям здания или фасаду.

Для композитной балки пролетом 12 м строительная высота перекрытия составляет примерно 600 мм. К ней следует добавить толщину элементов противопожарной защиты и допуск на прогиб перекрытия (условно 30 мм).

В случае если инженерные сети прокладываются вне конструктивной части перекрытия, к его строительной высоте следует добавить следующие размеры:

Фальшпол	150–200 мм
Оборудование системы кондиционирования воздуха	400–500 мм
Подвесной потолок и осветительное оборудование	120–250 мм.

Следует отметить, что прокладка инженерных сетей в пределах высоты несущих конструкций перекрытия позволяет достичь существенного снижения общей высоты перекрытия. Этот метод особенно эффективен для большепролетных перекрытий.

Для разработки основных проектных решений для стандартных гражданских многоэтажных зданий со стальным каркасом можно использовать следующие ориентировочные значения высоты перекрытий:

Композитные сталежелезобетонные перекрытия	800–1200 мм
Перфорированные балки с интегрированными инженерными сетями	800–1100 мм
Сборные железобетонные перекрытия (пролет 7,5 м)	1200–1200 мм
Сборные железобетонные перекрытия (пролет 14 м)	1450–1450 мм
Перекрытия со встроенными балками	600–800 мм.

4.3. Обеспечение пространственной неизменяемости конструктивной системы

Выбор конструктивной системы здания, обеспечивающей его устойчивость и пространственную неизменяемость, обуславливается главным образом его высотой. Устойчивость и неизменяемость зданий высотой до восьми этажей может быть обеспечена стальным пространственным каркасом, но для зданий повышенной этажности более эффективным является устройство ядер жесткости, выполненных из железобетона или стальных вертикальных связевых диафрагм. Ниже описаны основные виды конструктивных схем, применяющихся для обеспечения устойчивости и пространственной неизменяемости зданий со стальным каркасом.

4.3.1. Рамные каркасы

В зданиях высотой до четырех этажей несущая способность на изгиб и жесткость при действии горизонтальных нагрузок может быть обеспечена рамным каркасом с жесткими узлами сопряжения балок с колоннами. При такой конструктивной схеме балки обладают развитым по высоте сечением (от 400 до 500 мм), а колонны воспринимают изгибающие моменты, что также приводит к увеличению размеров их сечений. Необходимая жесткость узлов обеспечивается при помощи фланцевых соединений на всю высоту сечения балки.

4.3.2. Связевые каркасы

В зданиях высотой до 12 этажей обычно применяются связевые стальные каркасы. Крестовые, К-образные или V-образные связи устанавливаются вдоль продольных стен, обычно в углублении фасада, или вокруг лестничных клеток или блоков инженерных коммуникаций. Крестовые связи проектируются из условия работы только на растяжение (сжатый элемент связи исключается из работы). Крестовые связи часто выполняются из листовой стали, но могут также использоваться уголки или швеллеры. Стальной связевой каркас обладает следующими двумя основными преимуществами:

- Обеспечивается устойчивость каркаса в процессе монтажа
- Как только стальные связи установлены (соединены с каркасом болтами), устойчивость конструкции можно считать обеспеченной.

4.3.3. Железобетонные или стальные ядра жесткости

Наиболее эффективной конструктивной системой для зданий до 40 этажей является схема с железобетонным ядром жесткости; при этом вначале возводится железобетонное ядро, а затем – стальной каркас. При такой конструктивной схеме балки часто располагаются вдоль пролетов между колоннами, расположенными по периметру здания, и ядром жесткости. В проекте должны быть отдельно рассмотрены следующие вопросы:

- Узлы соединения балок и железобетонного ядра
- Установка усиленных главных балок у углов ядер жесткости
- Обеспечение пожарной безопасности и долговечности большепролетных конструкций.

Особое внимание должно быть уделено проектированию узлов соединения стальных балок с железобетонным ядром, обладающих компенсационной способностью, с учетом возможной подвижки ядра. Соединение не может быть завершено, пока монолитный бетон не наберет заданную прочность, или пока элементы не соединены между собой сваркой, поэтому следует уделить внимание обеспечению временной устойчивости конструкций.

На типовой схеме расположения балок вокруг железобетонного ядра жесткости, представленной на рисунке 4.3, показаны усиленные балки, примыкающие к углу ядра жесткости. С целью уменьшения строительной высоты перекрытия могут быть использованы две балки, установленные рядом.

При необходимости сокращения сроков строительства экономически оправданным становится применение композитных ядер жесткости со стальной листовой обшивкой. Ядро жесткости с двойной обшивкой может быть установлено одновременно со стальным каркасом, а процесс бетонирования произведен позднее. Эта конструктивная система показана на рисунке 4.4.

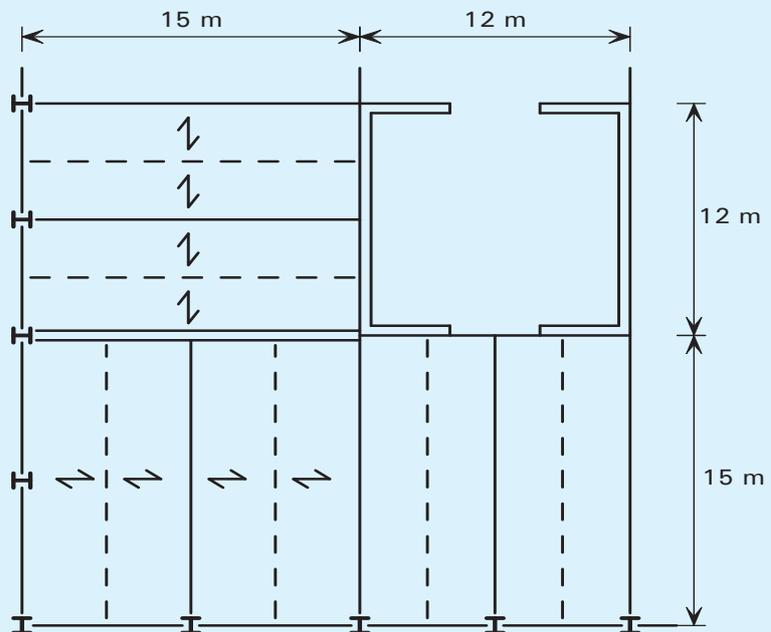


Рисунок 4.3. Типовая схема расположения балок вокруг железобетонного ядра жесткости



Рисунок 4.4. Стальное композитное ядро жесткости ускоряет процесс строительства

4.4. Колонны

Колонны многоэтажных стальных каркасов как правило изготавливаются из широкополочных двутавров и в основном воспринимают вертикальную нагрузку. Если устойчивость каркаса обеспечивается ядрами жесткости или отдельными вертикальными связями, балки проектируются как шарнирно опертые. Общепринятая расчетная модель подразумевает, что в условно шарнирных узлах на колонну передаются незначительные изгибающие моменты, возникающие вследствие того, что опорная реакция балки приложена в 100 мм от грани колонны. Если реакции по обеим сторонам колонны равны, то результирующие изгибающие моменты отсутствуют. Колонны, расположенные по периметру каркаса, будут испытывать изгибающие моменты вследствие того, что балки опираются на них лишь с одной стороны. Проектирование колонн рассмотрено в книге *Многоэтажные стальные здания. Часть 4. Рабочее проектирование металлоконструкций* [6].

На стадии предварительного проектирования подбор сечения колонны может выполняться только по продольной силе, но в этом случае необходимо, чтобы несущая способность колонны была использована лишь на 90%, оставляя резерв для последующего учета изгибающих моментов, возникающих в узлах опирания балок.

Характерные размеры сечения колонн приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Типичные значения веса строительных конструкций

ЧИСЛО ЭТАЖЕЙ, С КОТОРЫХ ПЕРЕДАЕТСЯ НАГРУЗКА НА КОЛОННУ	ХАРАКТЕРНЫЕ РАЗМЕРЫ СЕЧЕНИЯ (ВЫСОТА)
1	150
2-4	200
3-8	250
5-12	300
10-40	350

Несмотря на то что по архитектурным соображениям предпочтительны меньшие сечения, необходимо принимать во внимание технологичность устройства соединения колонн с балками перекрытия. В колоннах малых по высоте сечений узел примыкания балки перекрытия к стенке профиля является технически сложным и неэкономичным.

Для удобства монтажа колонны, как правило, изготавливаются в виде отправочных марок высотой на два или три этажа (т.е. примерно 8–12 м длиной).

Как правило, размер сечения колонны изменяется по высоте здания с целью эффективного использования стального проката. При этом желательно соблюдать соосность участков колонны, хотя для фасадных колонн может быть предпочтительнее получить сплошную внешнюю грань, чтобы иметь возможность использовать унифицированные детали крепления фасадов.

Типичная конструкция стыка отправочных марок колонны по высоте показана на рисунке 4.5. Участки разного сечения соединяются через стыковую пластину.

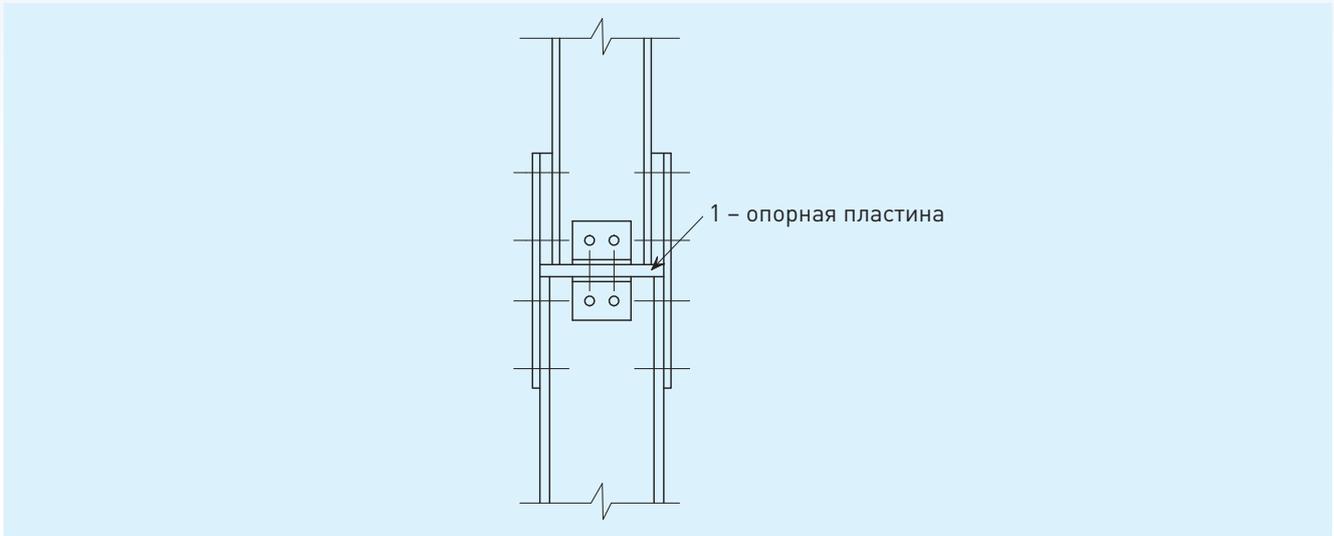


Рисунок 4.5. Типичная конструкция монтажного стыка с опорной пластиной

Если необходимо избежать выступающих деталей в конструкции стыка, используются болты с потайной головкой, а если сечения отправочных марок имеют совпадающие внутренние размеры – внутренние накладки и болты с потайными головками, как показано на рисунке 4.6.

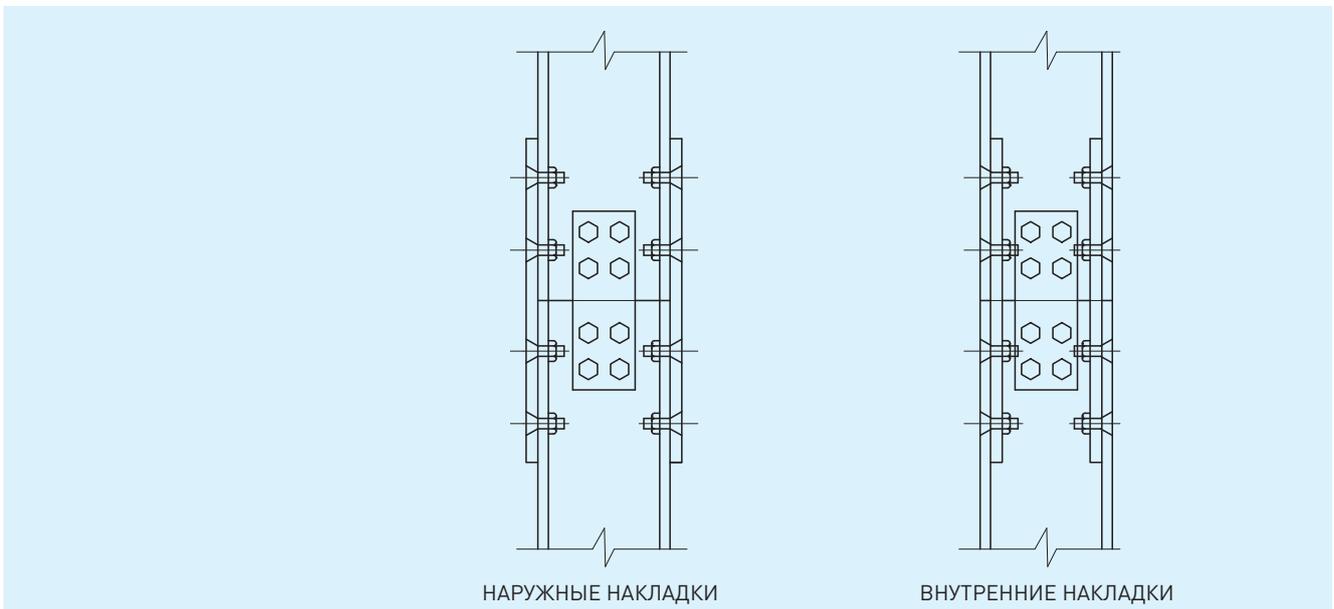


Рисунок 4.6. Монтажный стык колонны по высоте на болтах с потайными головками

4.5. Конструктивные системы перекрытий

4.5.1. Схемы расположения основных несущих конструкций перекрытий

Существует множество конструктивных решений перекрытий. Некоторые типовые решения приведены в таблице 4.2, а более подробно конструкции перекрытий рассмотрены в последующих разделах. Хотя стальные конструкции применяются и при малых пролетах (обычно 6–9 м), главное преимущество стали перед другими материалами состоит в том, что она дает возможность легко реализовать конструктивные схемы с большими пролетами (от 12 до 18 м). Главными преимуществами таких схем являются большое свободное от колонн пространство, дающее возможность гибкой планировки, а также уменьшение количества фундаментов.

В качестве настилов по стальным балкам обычно служат либо сборные железобетонные изделия, либо композитные плиты перекрытий. Балки, на которые опирается перекрытие, могут располагаться под настилом, с опиранием последнего на верхний пояс балок или входить в общую систему перекрытия (встроенные балки), что позволяет снизить его строительную высоту. Часто решающим фактором при выборе конструктивной схемы перекрытия является заданная строительная высота перекрытия.

Балки, размещенные в пределах высоты перекрытия, известны как «встроенные балки». Балки могут быть обычными или комбинированными (композитными). В композитных перекрытиях к верхней полке балки привариваются стад-болты, обеспечивающие совместную работу стальной балки и железобетонного настила на сдвиг. Стад-болты часто привариваются к неокрашенной верхней полке балки через стальной профилированный настил (приварка сквозь листовую обшивку) непосредственно на строительной площадке. Несмотря на значительный объем проведенных испытаний и теоретических исследований, доказывающих эффективность приварки сквозь листовую настил, некоторые специалисты считают, что стад-болты должны привариваться в заводских условиях, а стальной профилированный настил в этом случае должен быть однопролетным, либо иметь отверстия для пропуска стад-болтов. В качестве альтернативы могут использоваться коннекторы, механически прикрепляемые к балке сквозь настил (часто пристрелкой из поршневого монтажного пистолета).

Сборные железобетонные изделия могут применяться лишь в перекрытиях малоэтажных зданий со стальным каркасом, тогда как композитные перекрытия широко используются в зданиях как малой, так и повышенной этажности.

Таблица 4.2. Типовые конструктивные решения перекрытий

ВИД КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЯ	ТИПОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЯ
Малая этажность, небольшие пролеты, ограничения по строительной высоте отсутствуют	Перекрытия со сборными железобетонными плитами или композитные перекрытия с опиранием на верхний пояс балок
Небольшие пролеты (менее 9 м), ограничения по строительной высоте	Перекрытия со встроенными балками – сборные или композитные
Малая этажность, большие пролеты (около 15 м)	Перекрытия со сборными железобетонными плитами (пролетом 15 м), которые опираются на стальные балки, параллельные продольной оси здания, и на крайние балки с опорным верхним поясом
Здания средней этажности и многоэтажные здания, небольшие пролеты, ограничения по высоте отсутствуют	Композитные перекрытия, опирающиеся на верхние полки балок
Здания средней этажности и многоэтажные, большие пролеты (до 18 м), ограничения по строительной высоте	Композитные перекрытия с перфорированными большепролетными стальными второстепенными балками

4.5.2. Типы балочных клеток в композитных перекрытиях

Композитные настилы опираются на комбинированные балки. Существует два основных вида балочных клеток, применяемых в композитных перекрытиях:

- Большепролетные второстепенные балки, опирающиеся на главные балки меньшего пролета (рисунок 4.7). В этом случае размеры сечений балок могут быть подобраны таким образом, чтобы главные и второстепенные балки имели примерно одинаковую высоту.
- Большепролетные главные балки, на которые опираются второстепенные балки меньшего пролета (рисунок 4.8). В этом случае главные балки имеют большую высоту сечения.

В качестве большепролетных второстепенных балок рекомендуется использовать балки с перфорированной стенкой, а для большепролетных главных балок, в которых действуют значительные поперечные силы, более эффективными являются балки составного сечения. Возможно также исключить второстепенные балки, используя большепролетные композитные настилы и главные балки, непосредственно опирающиеся на колонны.

Рисунок 4.7. Пример перекрытия с большепролетными второстепенными балками (указан пролет настила)

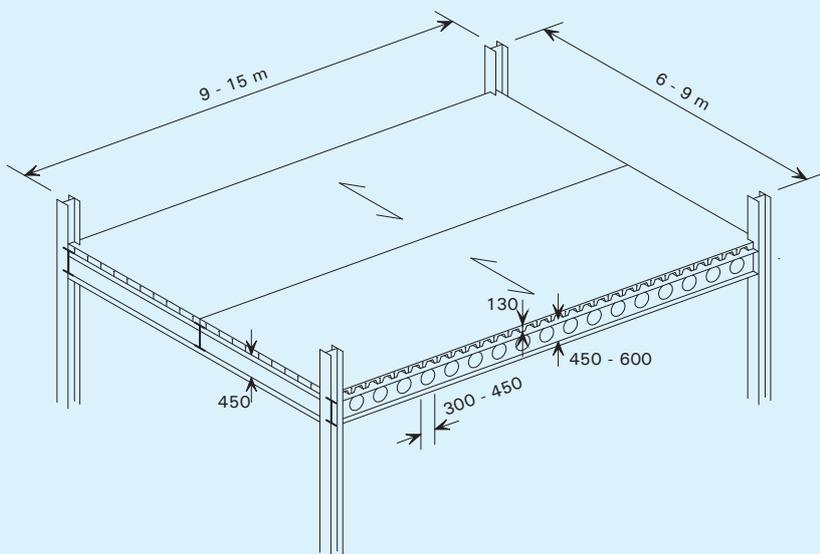
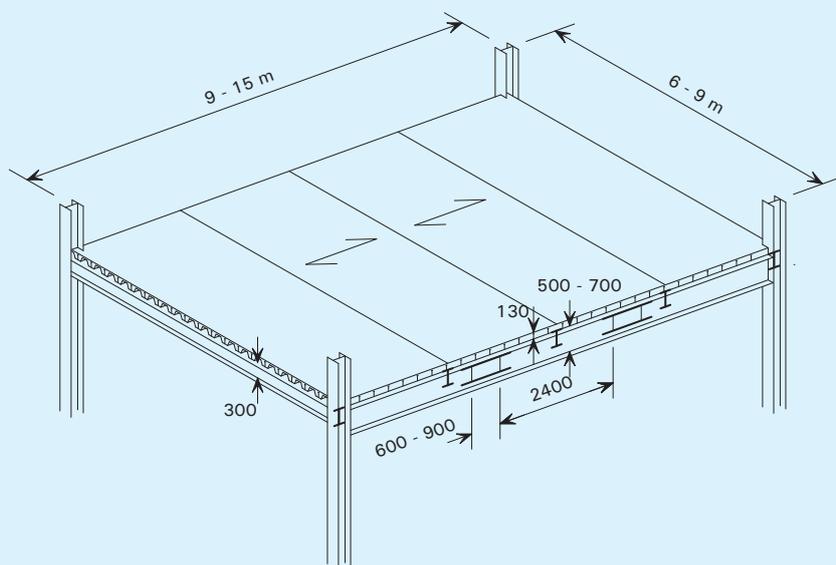


Рисунок 4.8. Пример перекрытия с большепролетными главными балками и второстепенными балками меньшего пролета (указан пролет настила)



Перекрытия со встроенными балками выполняются по особой схеме, в которой балки опираются непосредственно на колонны, а второстепенные балки отсутствуют. Такие схемы обычно используются на квадратных сетках колонн, как показано на рисунке 4.9. Настил опирается на нижнюю полку или уширенную нижнюю полку балки и может представлять собой композитную плиту по профилированному настилу с высокими гофрами или пустотную железобетонную плиту.

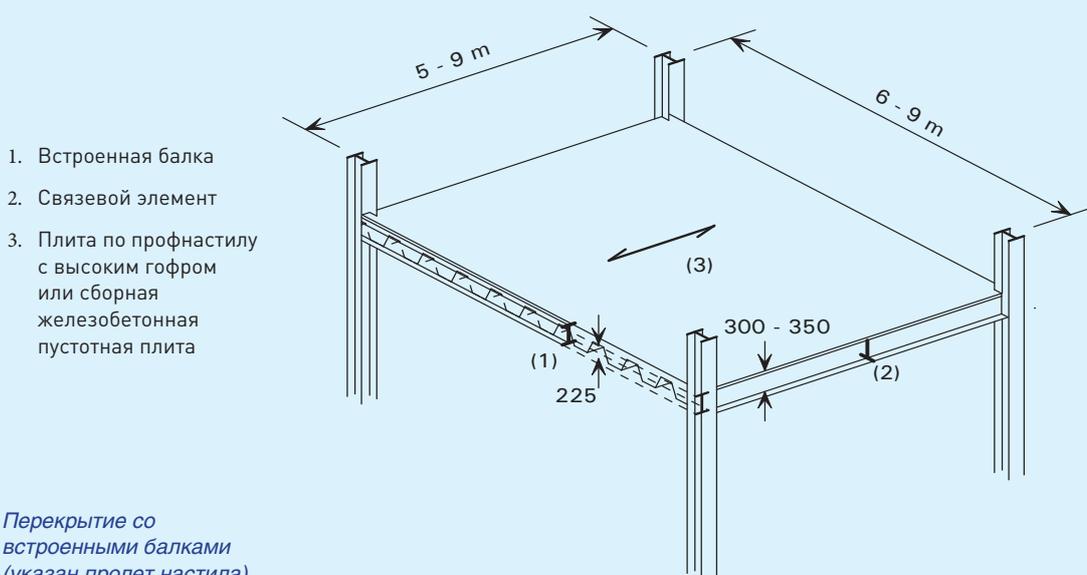


Рисунок 4.9. Перекрытие со встроенными балками (указан пролет настила)

	ПРОЛЕТ (М)					
	6	8	10	13	16	20
Плоские железобетонные плиты	█	█				
Встроенные балки и композитные плиты	█	█				
Встроенные балки со сборным ж/б настилом	█	█	█			
Композитные балки и настилы		█	█	█		
Балки составного сечения с отверстиями в стенке			█	█	█	█
Комбинированные балки с перфорированной стенкой			█	█	█	█
Комбинированные композитные фермы					█	█

Рисунок 4.10. Размеры пролетов для различных конструктивных решений перекрытий

Размеры пролетов для различных конструктивных решений перекрытий приведены на рисунке 4.10. Большепролетные перекрытия со стальными балками при пролетах более 12 м обычно допускают прокладку инженерных систем в пределах высоты основных несущих конструкций. Для второстепенных большепролетных балок наиболее эффективными являются балки с перфорированными стенками или комбинированные фермы, а большепролетные главные балки чаще проектируются составного сечения.

4.5.3. Основные характеристики большепролетных конструкций

Большепролетные балки получили распространение в зданиях сектора коммерческой недвижимости, так как при проектировании и строительстве они обладают следующими преимуществами:

- Отсутствуют промежуточные колонны, что позволяет применять гибкую планировку и более эффективно использовать внутреннее пространство
- Инженерные сети могут прокладываться в пределах строительной высоты перекрытий, не увеличивая высоту этажа
- Требуется меньшее количество конструктивных элементов (обычно на 30% меньше балок), что позволяет сократить время монтажа и общие сроки строительства
- Уменьшаются затраты на противопожарную защиту как следствие массивности большепролетных конструкций (отношения веса к открытой площади поверхности)
- Для балок с перфорированной стенкой использование коробов круглого сечения более экономично, чем прямоугольных коробов
- Стоимость самих стальных конструкций увеличивается незначительно, несмотря на увеличенные пролеты
- Общие затраты на строительство увеличиваются очень незначительно (менее чем на 1%).

4.5.4. Металлоемкость

Для предварительной оценки расхода стали при проектировании офисных зданий могут быть использованы таблицы характерных весов стальных конструкций зданий с прямоугольной сеткой колонн. Для зданий с нерегулярной сеткой колонн, высотных зданий, зданий с атриумами или сложными фасадами приведенные значения весов существенно увеличиваются.

Примерные значения приведены в таблице 4.3 и выражены в весе стальных конструкций, приведенном к единице площади перекрытия. Эти значения не включают стальные конструкции фасадов, атриумов и покрытий.

Таблица 4.3. Примерный расход стали для предварительной оценки металлоемкости

ВИД ЗДАНИЯ	ПРИМЕРНЫЙ РАСХОД СТАЛИ (КГ/М ² ПЛОЩАДИ ПОЛА)			
	БАЛКИ	КОЛОННЫ	СВЯЗИ	ВСЕГО
3- или 4-этажное здание прямоугольной формы	25–30	8–10	2–3	35–40
6–8-этажное здание прямоугольной формы	25–30	12–15	3–5	40–50
8–10-этажное здание с большими пролетами	35–40	12–15	3–5	50–60
20-этажное здание с железобетонным ядром жесткости	25–30	10–13	1–2	40–50
20-этажное здание с ядром жесткости из стальных связевых диафрагм	25–30	20–25	8–10	55–70

4.6. Факторы, влияющие на конструктивную схему

Планирование строительства является одной из основных составляющих любого проекта и должно выполняться одновременно с оценкой стоимости основных конструкций, инженерного оборудования, ограждающих конструкций и отделки. Конструктивная схема имеет решающее влияние на организацию и стоимость строительства, а также на конструктивные решения, позволяющие быстро и безопасно возводить здания и скорее вводить их в эксплуатацию.

4.6.1. Условия площадки строительства

Все чаще здания возводятся на ранее освоенных территориях, где остались следы предыдущей застройки. На территориях городских центров часто бывают предпочтительными конструктивные схемы с меньшим количеством фундаментов, хотя и более нагруженных, что приводит к необходимости использования больших пролетов в наземной части здания.

Стесненная площадка строительства может наложить особые ограничения на конструктивную схему, например, по физическим размерам элементов, которые могут быть доставлены и смонтированы. Ограниченный доступ может привести к необходимости монтажа стальных конструкций непосредственно с транспортного средства, находящегося на дороге. Это, в свою очередь, делает невозможным проведение работ в определенное время суток и лишает график монтажных работ необходимой гибкости. Мобильная монтажная платформа обеспечивает площади временного хранения и укоряет процесс монтажа, как показано на рисунке 2.2.

4.6.2. Строительные краны и подъемники

Количество кранов на строительной площадке определяется следующими факторами:

- Размером и формой строительной площадки – зона покрытия крана должна охватывать все необходимые участки, включая зону разгрузочных работ
- Масштабом проекта, который определяет экономическую эффективность использования кранов
- Использованием дополнительных мобильных кранов – многоэтажные рамы обычно монтируются с использованием башенного крана, который может быть дополнен автомобильными кранами для подъема особо тяжелых конструкций.

В качестве справки можно отметить, что нормальной считается скорость монтажа от 20 до 30 монтажных элементов в день. При среднестатистическом весе элементов это примерно соответствует 10–12 т стальных конструкций в день. Таким образом, выгоднее использовать меньшее количество большепролетных балок. Там, где это возможно, следует использовать элементы высокой заводской готовности и укрупнительную сборку для того, чтобы сократить число монтируемых элементов и увеличить скорость монтажа.

4.6.3. Устройство композитных перекрытий

Композитные перекрытия состоят из профилированного стального настила, который поднимается на балочную клетку перекрытия в рулонах и вручную устанавливается в проектное положение. Немедленно после монтажа элементов каркаса и перед установкой настила устраиваются защитные ограждения в виде сеток. Возведенные верхние уровни стального каркаса не препятствуют подъему настила и его укладке, хотя, как правило, установка настила производится сразу после монтажа несущих конструкций перекрытия. Законченные перекрытия могут быть использованы как безопасная рабочая площадка для монтажа последующих уровней стального каркаса и позволяет выполнять другие виды строительных работ на нижележащих уровнях, как показано на рисунке 4.11. С этой целью бетонирование часто начинается с верхнего перекрытия каждой группы перекрытий (обычно группа включает три междуэтажных перекрытия).



Рисунок 4.11. Композитное перекрытие образует безопасную рабочую площадку на время монтажа

4.6.4. Монтаж сборных железобетонных плит перекрытий

Возведенные верхние уровни стального каркаса существенно усложняют установку сборных железобетонных плит перекрытия. Поэтому плиты перекрытия следует устанавливать по мере монтажа несущих конструкций каждого этажа; при этом монтаж плит перекрытия должен выполняться основной монтажной организацией. Обычно при монтаже колонн и стальных несущих конструкций перекрытия этажа устанавливаются лишь те конструкции следующего яруса, которые необходимы для обеспечения устойчивости каркаса до установки железобетонных плит перекрытия.

4.7. Координация конструктивных решений с инженерными системами здания

Большинство больших зданий офисного типа нуждается в кондиционировании воздуха или его охлаждении до комфортной температуры, что требует устройства горизонтальных и вертикальных распределительных систем. Прокладка таких систем должна быть предусмотрена проектом, что оказывает существенное влияние на схему расположения несущих конструкций здания и выбор типов конструктивных элементов.

На первом этапе должно быть принято основное техническое решение – осуществлять прокладку систем воздуховодов в пределах высоты перекрытия или под перекрытием. От этого решения зависит выбор несущих конструкций перекрытия, системы противопожарной защиты, ограждающих конструкций (стоимость и технологии), а также общая высота здания. Существуют также системы кондиционирования, располагаемые под фальшполом.

Наиболее часто используемыми системами кондиционирования воздуха являются системы с переменным расходом воздуха и системы с вентиляторными теплообменниками. Системы с переменным расходом воздуха часто используются в зданиях с одним конечным пользователем-владельцем, так как они требуют меньших эксплуатационных затрат. Системы с вентиляторными теплообменниками чаще используются в зданиях, предназначенных для продажи или сдачи в аренду, так как требуют меньших начальных капиталовложений.

Обычно для прокладки инженерных сетей под перекрытием достаточно пространства высотой 400 мм. Дополнительные 150–200 мм обычно предусматриваются для устройства огнезащиты, подвесного потолка, осветительного оборудования и учета нормативного прогиба (25 мм). Доводчики систем кондиционирования располагаются в свободном пространстве между балками.

Прокладка воздуховодов в пределах высоты перекрытия осуществляется через отверстия в несущих стальных конструкциях. Это могут быть как отдельные отверстия, вырезанные в стенках стальных балок, так и регулярные отверстия, например, в балках с перфорированной стенкой.

Балки с перфорированной стенкой позволяют проложить многочисленные трубопроводы круглого сечения по всему зданию, как показано на рисунке 4.12, особенно отходящих от ядра жесткости здания. В перфорированных стенках балок могут быть устроены удлиненные отверстия, как показано на рисунке 4.13.



Рисунок 4.12. Балка с перфорированной стенкой с проложенными трубопроводами инженерных сетей

Если в проекте нет ограничений по высоте здания, то инженерные сети могут быть проложены под конструкциями перекрытия. Последствием этого является увеличение строительной высоты каждого этажа, а также увеличение площади фасадов.

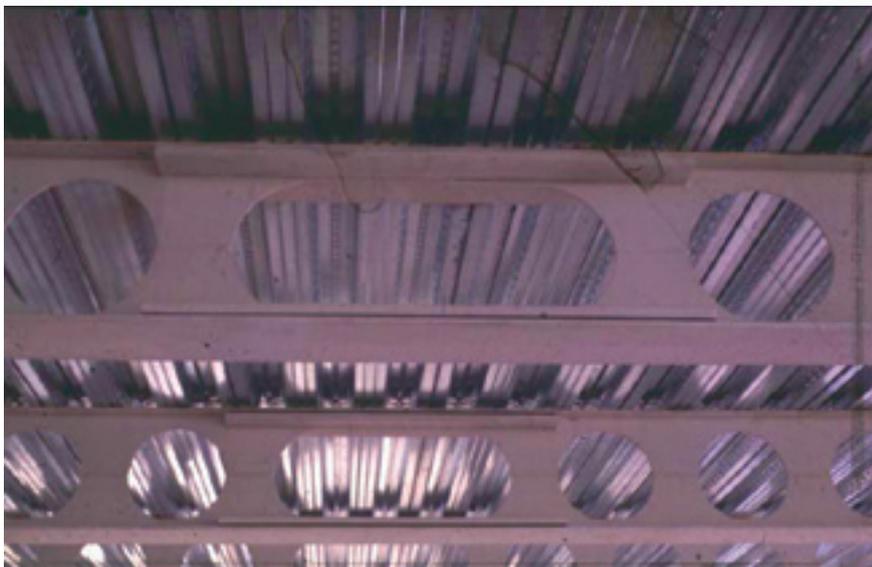


Рисунок 4.13. Отверстие вытянутой формы с горизонтальными ребрами жесткости

Пример расположения инженерных сетей под перекрытием со встроенными балками показан на рисунке 4.14. Наименьшая высота перекрытия со встроенными балками достигнута за счет применения плиты по профилированному настилу с высокой гофрой и асимметричных стальных балок. Инженерные сети могут располагаться в гофрах настила и проходить через отверстия в несущих стальных балках. Диаметры труб и элементов инженерного оборудования при такой схеме ограничены.



Рисунок 4.14. Прокладка инженерных сетей под перекрытием со встроенными балками

5 Конструктивные системы перекрытий

Несущие конструкции перекрытий воспринимают собственный вес и временные нагрузки, а также передают горизонтальные усилия на вертикальные связи. Огнестойкость плит перекрытий, а также балок и колонн должна соответствовать нормативному значению (обычно 60—120 мин.).

Инженерные коммуникации могут быть встроены в конструкцию перекрытия либо располагаться под ним (см. раздел 4.6). В офисных зданиях обычно предусмотрен фальшпол, который позволяет выполнять разводку коммуникаций (особенно электрических и слаботочных сетей).

В данном разделе рассматриваются различные конструктивные системы перекрытий, наиболее часто применяющиеся в строительстве многоэтажных зданий; описываются особенности каждого решения и приводятся некоторые рекомендации по проектированию. Данные рекомендации не являются сводами правил, а лишь отсылают читателя к соответствующим разделам нормативной документации.

В книге представлены следующие конструктивные системы перекрытий:

- Композитные сталежелезобетонные балки и плиты по профнастилу
- Большепролетные сталежелезобетонные балки с перфорированной стенкой
- Перфорированные сталежелезобетонные балки с композитными плитами по профнастилу
- Композитные и некомпозитные балки со сборными железобетонными плитами
- Встроенные балки со сборными железобетонными плитами.

5.1. Композитные сталежелезобетонные конструкции

В нескольких следующих подразделах представлены конструктивные решения композитных сталежелезобетонных перекрытий. Стальной профилированный настил может выполняться из листовых гнутых профилей открытого или закрытого типа: настилы с гофром закрытого типа требуют большего объема бетона, однако плита на таком настиле обладает более высокой огнестойкостью, чем аналогичная по высоте плита с гофром открытого типа. Профнастил с гофром открытого типа обычно имеет больший пролет, но более низкую несущую способность анкерных упоров (стад-болтов) на восприятие поперечных усилий, что вызвано влиянием формы профиля.

Как правило, для устройства плит по профнастилу используется тяжелый бетон, однако легкие бетоны также применимы и являются широко доступными в некоторых странах.

Композитные сталежелезобетонные конструкции

Композитные сталежелезобетонные балки и плиты по профнастилу

Большепролетные сталежелезобетонные балки с отверстиями в стенке

Перфорированные сталежелезобетонные балки с композитными плитами по профнастилу

Композитные сталежелезобетонные балки со сборными железобетонными плитами

Некомпозитные балки со сборными железобетонными плитами

Перекрытия со встроенными балками и сборными железобетонными плитами

Неравнополочные балки в перекрытиях по профнастилу с высоким гофром

Проектирование и детализация узлов балочных конструкций

5.2. Композитные сталежелезобетонные балки и плиты по профнастилу

5.2.1. Описание и характеристики

Композитные сталежелезобетонные конструкции перекрытия состоят из стальных двутавровых балок с анкерными упорами (стад-болтами), приваренными к верхнему поясу, для обеспечения совместной работы с монолитной железобетонной плитой.

Композитная плита включает в себя профилированный настил различной формы, который опирается на второстепенные балки, расположенные с шагом 3-4 м. Наиболее распространенные формы профиля представлены на рисунке 5.1 с указанием соответствующих толщин плиты. При полной толщине плиты в 130 мм обычно используется профнастил высотой 50-60 мм, а в случае увеличения толщины плиты до 150 мм высота сечения профнастила возрастает до 80 мм. Толщину листов стального настила принимают 0,8-1,2 мм в зависимости от пролета.

Профнастил проектируют на нагрузку от бетонной смеси и технологические строительные нагрузки как 2-3-пролетный неразрезной элемент, в то время как композитная плита в стадии эксплуатации рассчитывается как однопролетная конструкция, свободно опирающаяся на стальные балки. Несущая способность композитной плиты является достаточной, поэтому максимальная длина пролетов определяется технологией производства работ на строительной площадке. Отсутствие временных стоек переопирания является преимуществом с точки зрения скорости строительства.

Второстепенные балки опираются на главные балки, которые проектируются как композитные. При этом крайние балки могут рассматриваться как некомпозитные, несмотря на наличие стад-болтов, обеспечивающих конструктивную целостность и восприятие ветровых нагрузок. На рисунке 5.2 представлен пример крайней балки композитной плиты.

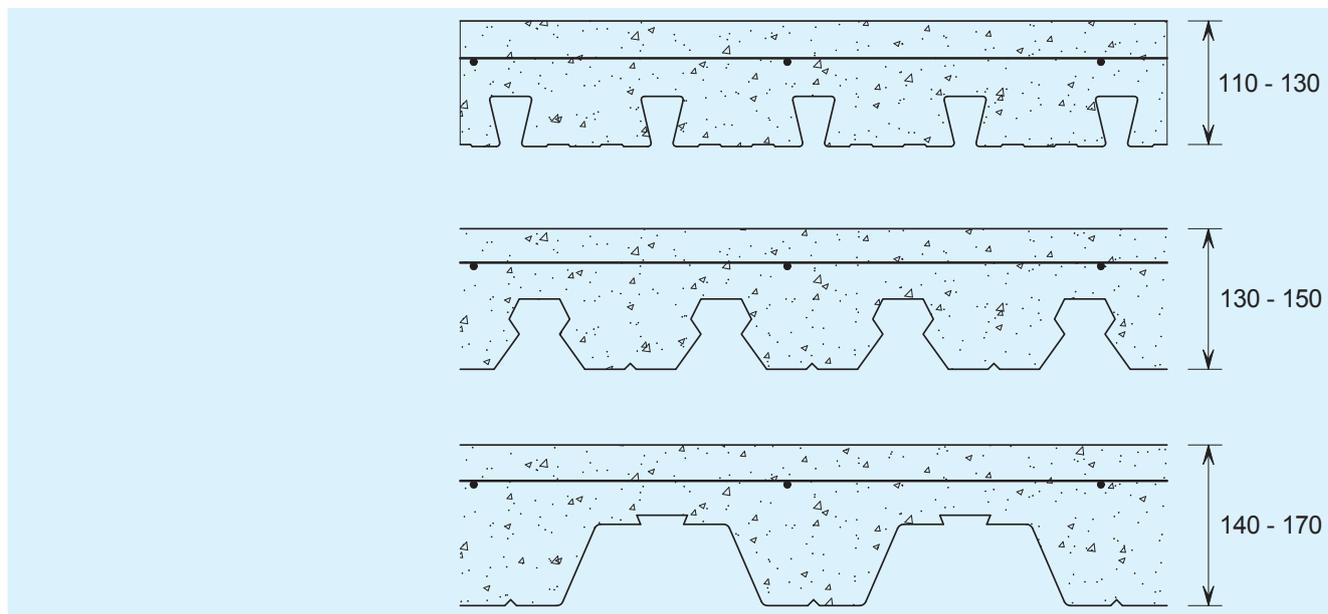


Рисунок 5.1. Формы сечений композитных плит перекрытий

Анкерные упоры в виде стад-болтов обычно привариваются к балкам на стройплощадке через отверстия в профнастиле для обеспечения совместной работы бетона и балок и надежного крепления профнастила к балкам до бетонирования.

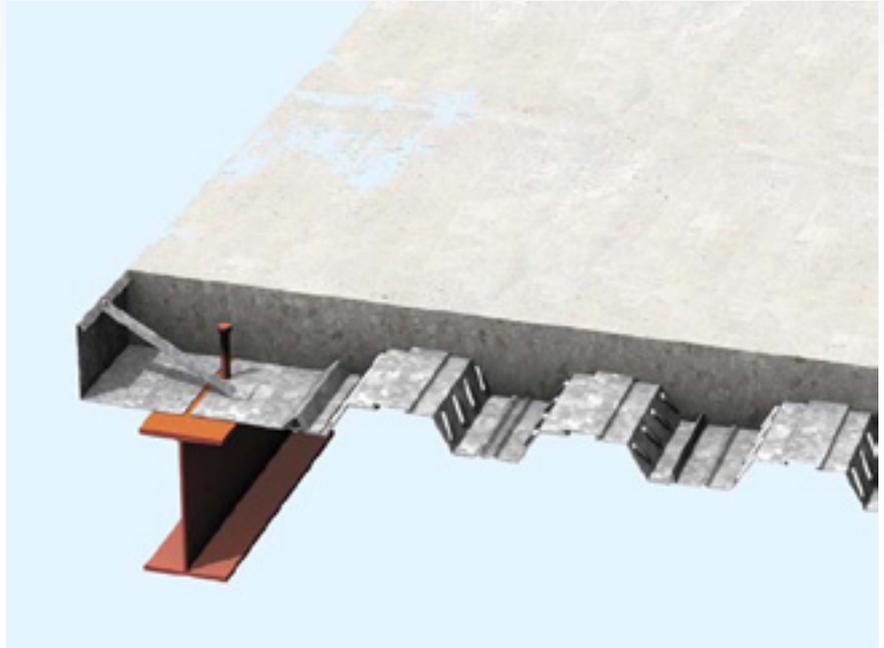


Рисунок 5.2. Крайняя балка в перекрытии композитной конструкции

5.2.2. Типовые пролеты балок и критерии проектирования

Второстепенные балки пролетом от 6 до 15 м обычно устанавливаются с шагом 3–4 м (предпочтительный максимальный пролет плиты – 3,75 м). Главные балки пролетом от 6 до 12 м представляют собой узкополочные двутавры типа IPE. Обычно главные и второстепенные балки устанавливаются по прямоугольной сетке, при этом второстепенные балки имеют больший пролет, что позволяет использовать одинаковые прокатные профили в главных и второстепенных балках. На рисунке 5.3 представлен типовой план расположения конструктивных элементов несущего каркаса здания.

Крайние балки могут иметь более высокое поперечное сечение, чем рядовые балки, для удовлетворения требований нормальной эксплуатации фасадных конструкций (ограничение прогибов). Использование композитных крайних балок приводит к необходимости установки П-образных арматурных стержней вокруг стаб-болтов.

При проектировании второстепенных балок, выполненных из стали класса S355, определяющим фактором является ограничение полных прогибов, в то время как главные балки, изготовленные из стали класса S235 или S275, в основном проектируются исходя из требуемой несущей способности на изгиб.

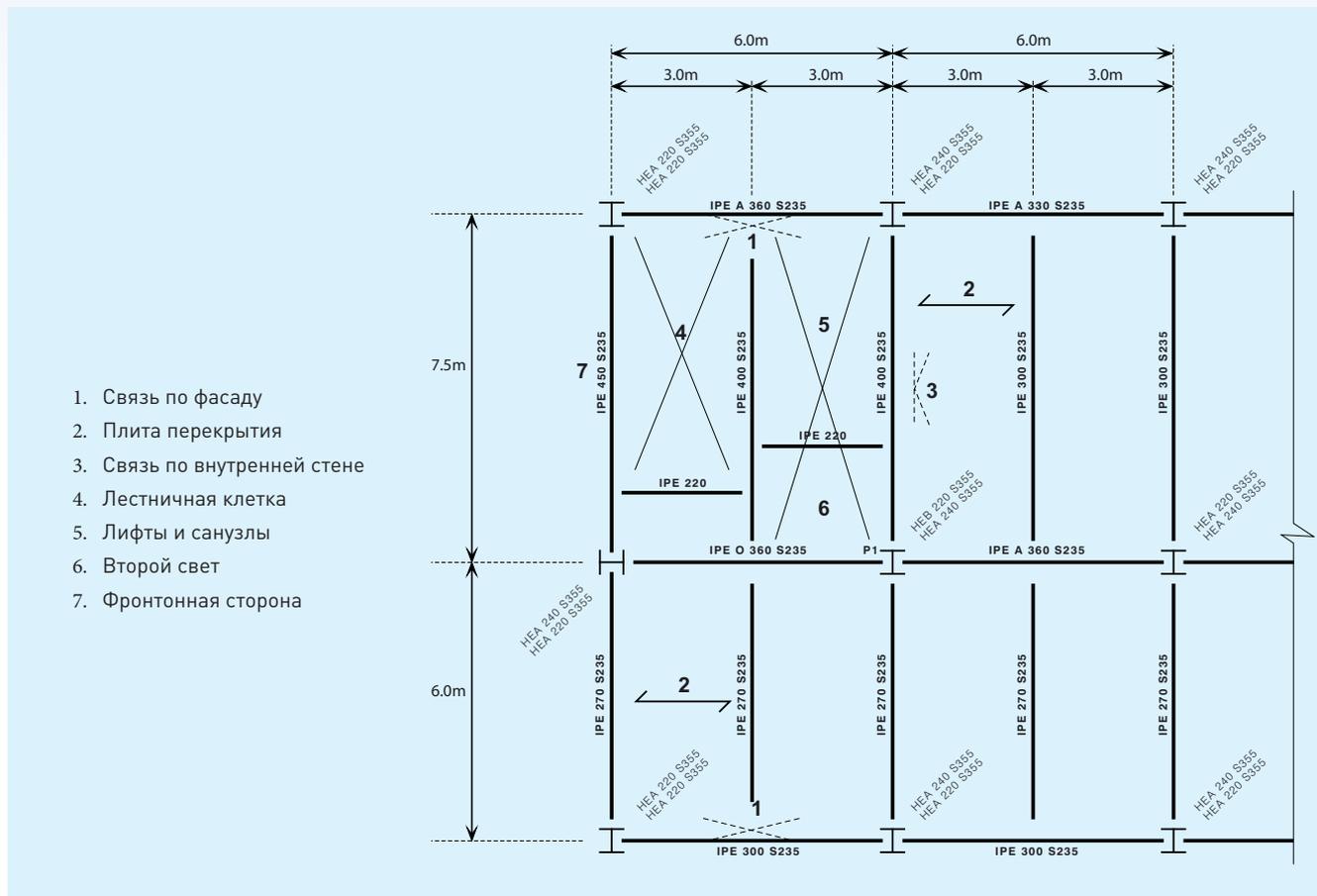


Рисунок 5.3. План расположения конструктивных элементов несущего каркаса четырехэтажного здания с композитными перекрытиями

5.2.3. Устройство инженерных коммуникаций

Трубопроводы систем отопления и вентиляции могут размещаться между балками, но воздуховоды обычно проходят под балками малой высоты. Например, для показанной выше сетки колонн 7,5х6 м общая толщина перекрытия составляет 1100–1200 мм, включая фальшпол высотой 150 мм и воздуховоды системы кондиционирования воздуха высотой 400 мм (см. рисунок 5.4). Общая толщина перекрытия может быть уменьшена до 700 мм при отсутствии воздуховодов системы кондиционирования.

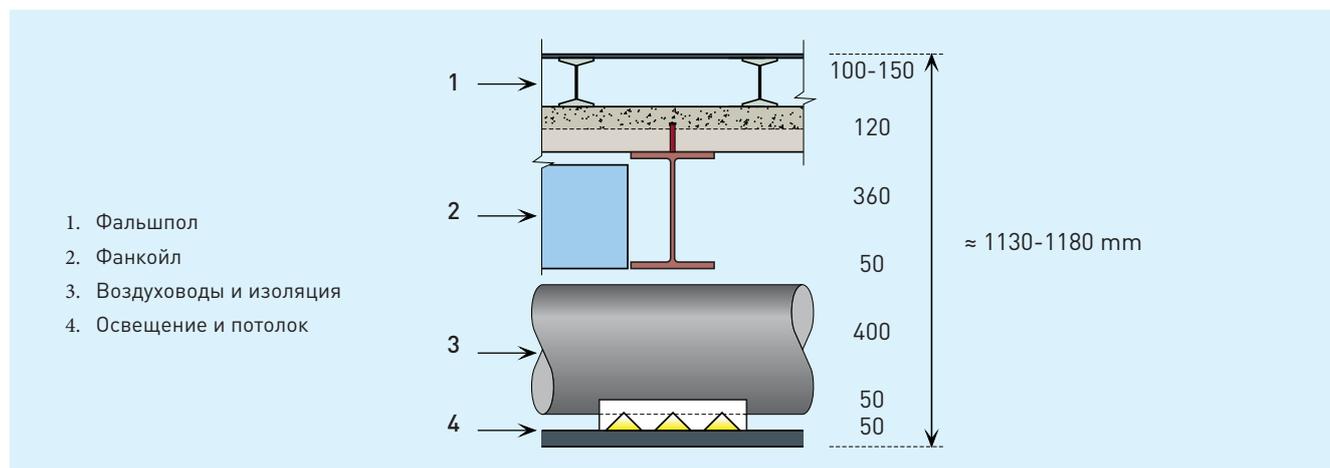


Рисунок 5.4. Детали композитного перекрытия небольшого пролета

5.2.4. Пожарозащита	Балки (типовые): Вспучивающееся огнезащитное покрытие	слой в 1,5 мм для огнестойкости 90 мин.
	Листовой материал	слой в 15–25 мм для огнестойкости 90 мин.
	Колонны (типовые): Вспучивающееся огнезащитное покрытие	слой в 1,5 мм для огнестойкости 60 мин.
	Листовой материал	слой в 25 мм для огнестойкости 90 мин.

Таблица 5.1. Размеры второстепенных композитных балок, изготовленных из прокатных двутавров IPE или HE (сталь класса S235), в составе балочного перекрытия

ПРОКАТНЫЕ СТАЛЬНЫЕ БАЛКИ	МАКСИМАЛЬНЫЙ ПРОЛЕТ ВТОРОСТЕПЕННОЙ БАЛКИ				
	6 М	7,5 М	9 М	10,5 М	12 М
Минимальный вес (узкополочные)	IPE 270A	IPE 300	IPE 360	IPE 400	IPE 500
Минимальная высота (широкополочные)	HE 220A	HE 240A	HE 280A	HE 320A	HE 340B

Временная полезная нагрузка = 3 кПа + 1 кПа для перегородок
Толщина плиты перекрытия = 130 мм; шаг второстепенных балок = 3 м

Таблица 5.2. Максимальные пролеты второстепенных композитных балок для типовых офисных нагрузок

IPE	ПРОЛЕТ	HEA	ПРОЛЕТ	HEB	ПРОЛЕТ
200	5,0	200	5,8	200	6,7
220	5,6	220	6,5	220	7,7
240	6,2	240	7,3	240	8,6
-	-	260	8,0	260	9,3
270	7,0	280	8,7	280	9,9
300	7,9	300	9,6	300	10,9
330	8,4	320	10,3	320	11,6
-	-	340	11,3	340	12,3
360	9,4	360	11,9	360	12,9
400	10,4	400	13,41	400	13,8
450	12,2	450	14,2	450	14,7
500	13,6	500	15,1	500	15,6
550	14,7	550	15,9	550	16,4
600	15,7	600	16,6	600	17,1

Временная полезная нагрузка = 3 кПа + 1 кПа для перегородок
Толщина плиты перекрытия = 130 мм; шаг второстепенных балок = 3 м

Таблица 5.3. Размеры главных композитных балок (сталь класса S235) в составе балочного перекрытия

ПРОЛЕТ БАЛОК ПЕРЕКРЫТИЯ	МАКСИМАЛЬНЫЙ ПРОЛЕТ РИГЕЛЯ				
	6 М	7,5 М	9 М	10,5 М	12 М
6 М	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600R
7,5 М	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600R	IPE 750×137
9 М	IPE 450	IPE 500	IPE 600	IPE 750×137	IPE 750×173

Временная полезная нагрузка = 3 кПа + 1 кПа для перегородок
Толщина плиты перекрытия = 130 мм; шаг второстепенных балок = 3 м

5.3. Большепролетные сталежелезобетонные балки с отверстиями в стенке

5.3.1. Описание и характеристики

Композитные сталежелезобетонные балки часто проектируются с большими отверстиями в стенках для удобства прокладки инженерных коммуникаций, как показано на рисунке 5.5. План расположения элементов перекрытия предусматривает устройство большепролетных второстепенных балок с шагом 3–3,75 м с опиранием на короткие главные балки. В другом варианте второстепенные балки с небольшим пролетом (6–9 м) опираются на большепролетные главные балки. Отверстия в стенках балок бывают круглой, вытянутой или прямоугольной формы и могут занимать до 70% высоты балки. Отношение длины отверстий к их высоте может достигать до 3,5. Края отверстий могут быть усилены ребрами жесткости.

Рисунок 5.5. Перфорированные большепролетные балки с отверстиями различных размеров и огнезащитным покрытием, нанесенным в заводских условиях



5.3.2. Пролеты балок и критерии проектирования

Большепролетные второстепенные балки: пролет – от 9 до 15 м, шаг – 3–3,75 м. Большепролетные главные балки: пролет – от 9 до 12 м, шаг – от 6 до 9 м.

На рисунке 5.6 показана типовая схема расположения конструктивных элементов несущего каркаса здания без внутренних колонн. Вытянутые или прямоугольные отверстия должны располагаться в зонах малых поперечных усилий, то есть в средней трети пролета балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. Другие рекомендации по размерам и расположению отверстий представлены на рисунке 5.7. Определяющими критериями расчетов являются допустимые прогибы и восприятие динамических нагрузок, а также сдвиговые усилия, возникающие около отверстий, расположенных в непосредственной близости от опор, или в местах приложения сосредоточенных нагрузок.

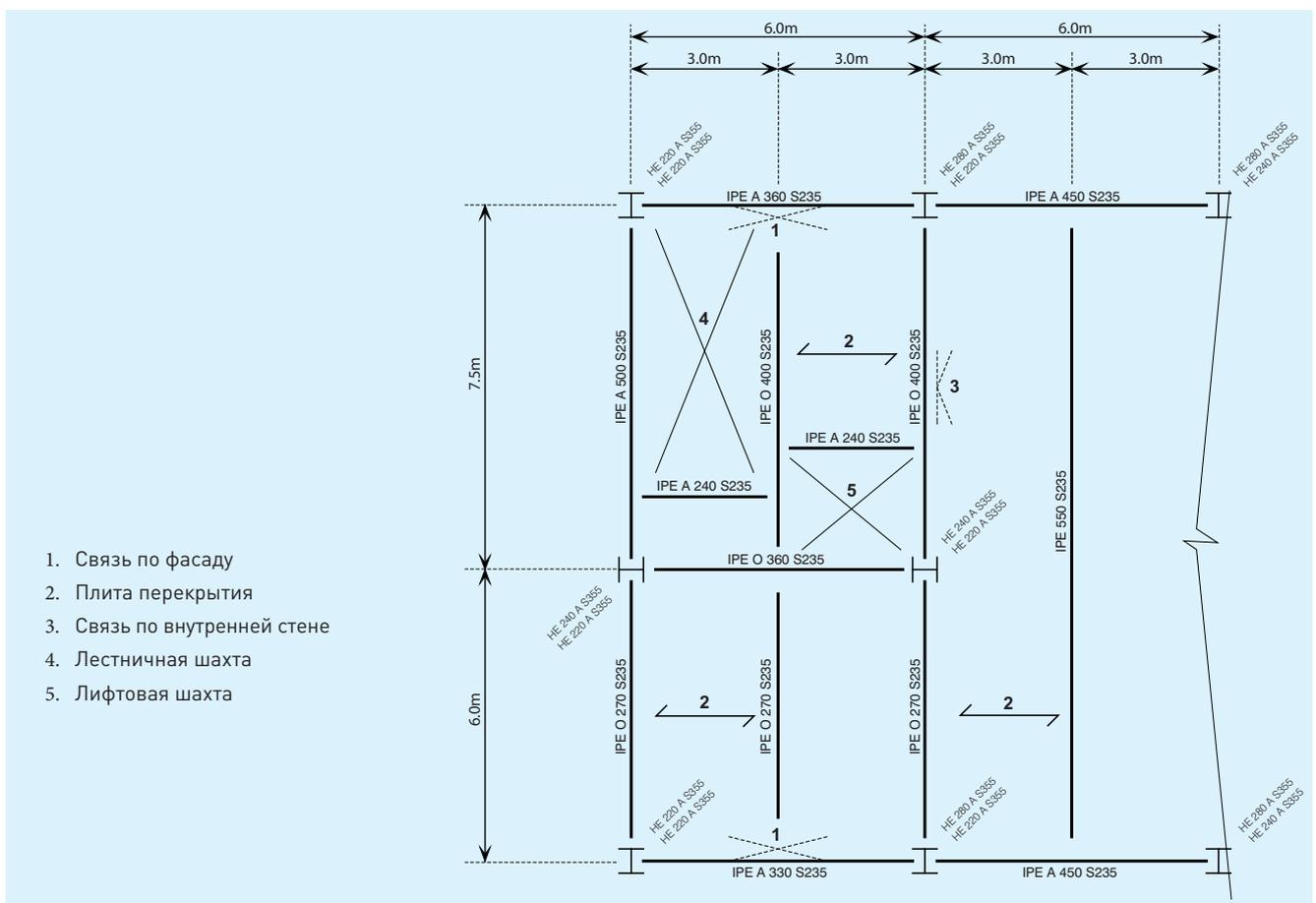


Рисунок 5.6. Схема расположения конструктивных элементов несущего каркаса здания с большепролетными балками

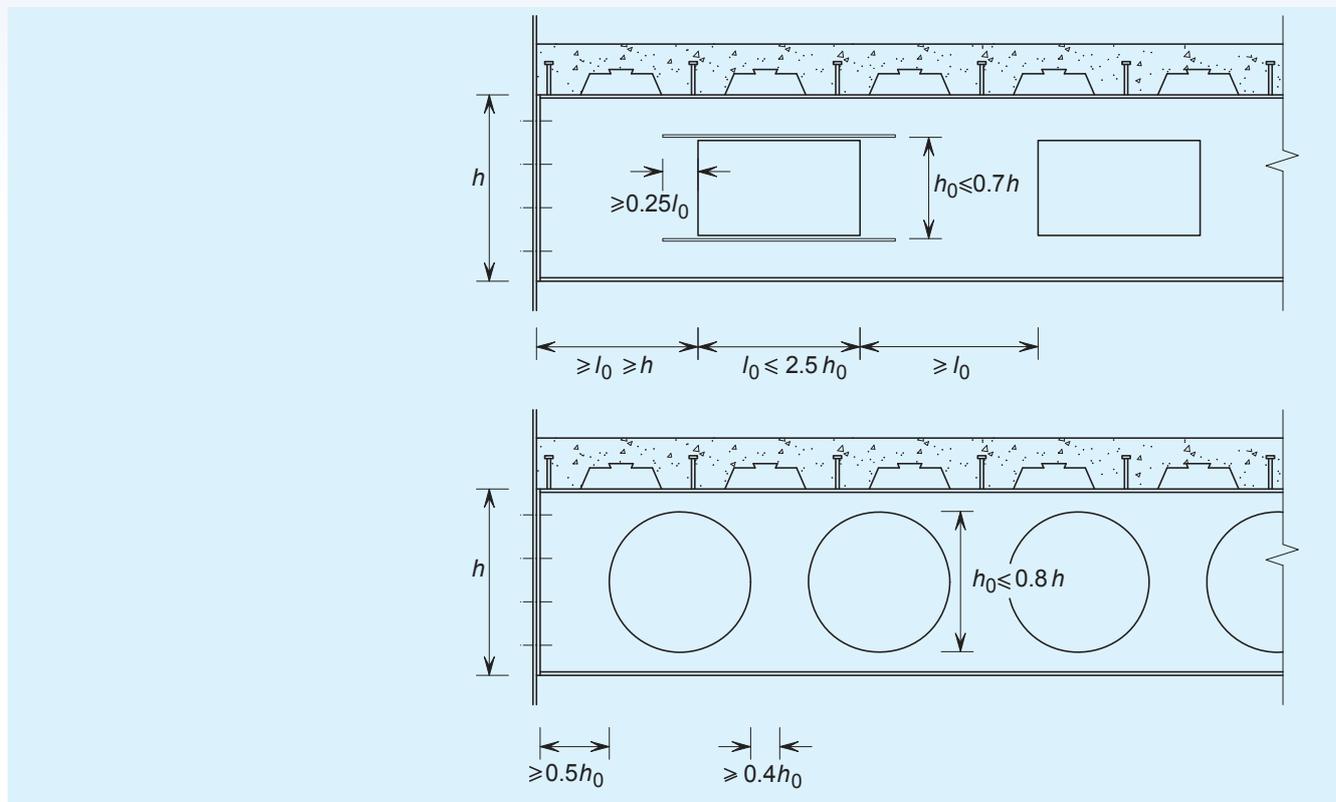


Рисунок 5.7. Требования по размерам и расположению круглых и прямоугольных отверстий в стенке перфорированной балки

5.3.3. Прокладка инженерных коммуникаций

Воздуховоды могут проходить сквозь отверстия в стенках балок. Высота поперечного сечения воздуховодов составляет около 400 мм, но у разных производителей может отличаться. Более крупные воздуховоды с высотой поперечного сечения от 450 мм до 750 мм могут располагаться между балками. Тогда общая высота типового перекрытия будет составлять:

1000 мм для балки пролетом 13,5 м (с отверстиями высотой 300 мм);
1200 мм для балки пролетом 15 м (с отверстиями высотой 400 мм).

5.3.4. Огнезащита

Огнезащита балочных конструкций перекрытий выполняется в виде обшивки листовыми огнезащитными материалами или нанесением вспучивающихся огнезащитных покрытий (нанесение одного слоя толщиной в 1,8 мм гарантирует огнестойкость 90 мин. и может быть выполнено в заводских условиях), как показано на рисунке 5.5.

5.4. Перфорированные сталежелезобетонные балки с композитными плитами по профнастилу

5.4.1. Описание

Перфорированные балки – это балки с круглыми отверстиями, расположенными с одинаковым шагом по всей длине балки, как показано на рисунке 5.8. При производстве таких балок двутавровый горячекатаный профиль разрезается в продольном направлении с последующим соединением с помощью сварки. Отверстия («ячейки») обычно имеют круглую форму, которая идеально подходит для пропуска трубопроводов круглого сечения. Форма ячеек также может быть вытянутой, прямоугольной или шестиугольной. На тех участках балок, где действуют значительные поперечные усилия, например, в непосредственной близости от точек приложения сосредоточенных нагрузок или в опорных зонах, иногда необходимо восстановить стенку балки, заполнив отверстия.

Размеры и шаг отверстий зависят от технологии изготовления. При этом представленный на рынке широкий ассортимент типоразмеров позволяет подобрать подходящие поперечные сечения для верхнего и нижнего поясов перфорированных балок. При проектировании композитных конструкций верхний пояс балки обычно имеет меньшее поперечное сечение, чем нижний.

Перфорированные балки могут использоваться в качестве большепролетных второстепенных балок, обеспечивая опору для плит перекрытий, или, в некоторых случаях, в качестве большепролетных главных балок, на которые опираются другие второстепенные перфорированные или прокатные узкопролетные двутавровые балки.



Рисунок 5.8. Большепролетные второстепенные перфорированные балки с регулярно расположенными круглыми отверстиями

5.4.2. Пролеты балок и критерии проектирования

Шаг балок 3–3,75 м позволяет избежать необходимости установки стоек перепириания для профнастила при бетонировании. Высота отверстий составляет 60–80% высоты балки. Для отверстий вытянутой формы могут понадобиться дополнительные ребра жесткости. Большие отверстия (вытянутые или прямоугольные) должны располагаться в зонах с небольшими сдвигающими усилиями, то есть в средней трети пролета балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. Внутренние балки используются только для обрамления инженерных шахт.

На рисунке 5.9 показан план расположения несущих элементов, обрамляющих угол перекрытия вокруг атриумного отверстия. В этом случае шаг колонн составляет 15х7,5 м, а перфорированные балки пролетом 15 м имеют высоту 670 мм.

Во избежание местной потери устойчивости стенок балок между отверстиями, особенно в зонах приложения сосредоточенных нагрузок или вблизи вытянутых отверстий, необходимо увеличить расстояние между отверстиями или размер поперечного сечения. В таблице 5.4 представлены типовые размеры поясов второстепенных перфорированных балок пролетом от 12 до 18 м, расположенных с шагом 3 м.

Таблица 5.4. Размеры второстепенных композитных перфорированных балок двутаврового сечения (IPE/HE), изготовленных из стали класса S235

ПАРАМЕТРЫ БАЛКИ С КРУГЛЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ	МАКСИМАЛЬНЫЙ ПРОЛЕТ БАЛКИ				
	12 М	13,5 М	15 М	16,5 М	18 М
Диаметр отверстия, мм	300	350	400	450	500
Высота балки, мм	460	525	570	630	675
Сечение верхней половины	IPE 360	IPE 400	IPE 400	IPE 450	IPE 500
Сечение нижней половины	HE 260A	HE 300A	HE 340B	HE 360B	HE 400M

Временная полезная нагрузка = 3 кПа + 1 кПа для перегородок
Толщина плиты перекрытия = 130 мм; шаг второстепенных балок = 3 м

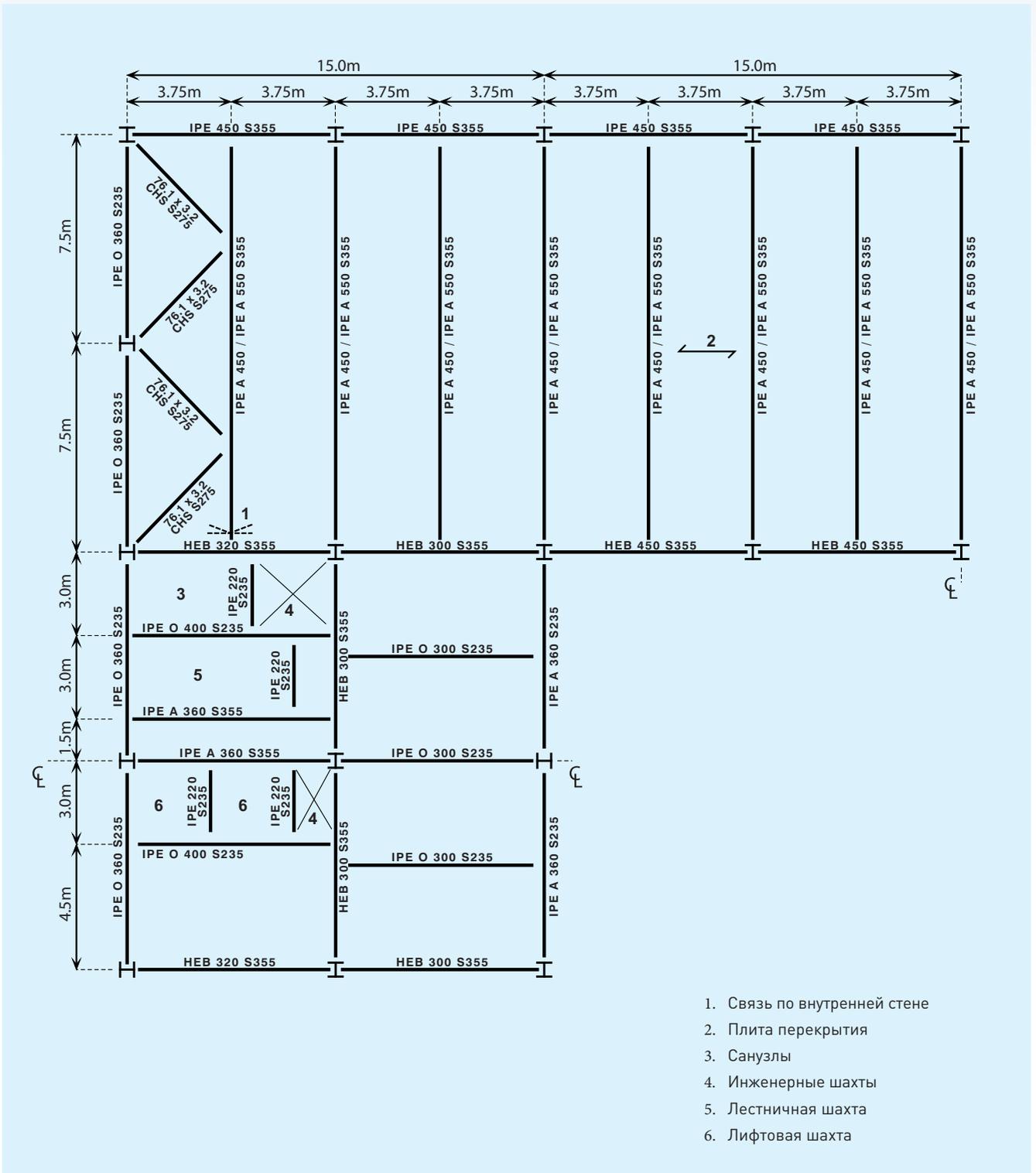


Рисунок 5.9. Большепролетные перфорированные второстепенные балки. Пример схемы расположения металлоконструкций каркаса в угловой зоне 8-этажного здания с атриумом

5.4.3. Прокладка инженерных коммуникаций

Регулярно расположенные в стенках балок отверстия позволяют прокладывать трубопроводы сквозь балки, как показано на рисунке 5.10. Инженерные коммуникации большего размера располагаются между балками. Отверстия в балках должны быть достаточно большими для устройства изоляции вокруг трубопроводов. При изготовлении балок необходимо скоординировать расположение отверстий таким образом, чтобы обеспечить их соосность в пределах этажа.

При использовании перфорированных балок пролетом 15 м с регулярно расположенными отверстиями высотой 400 мм, общая толщина конструкции перекрытия может составлять 1000 мм, что гораздо меньше, чем при прокладке трубопроводов под балками.

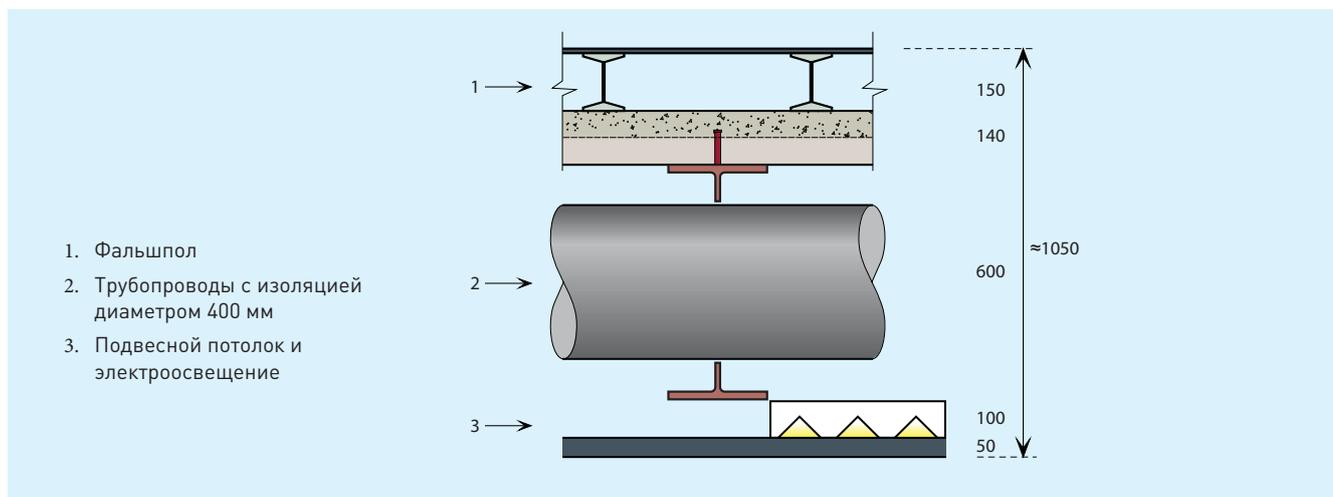


Рисунок 5.10. Типовая деталь композитного перекрытия с прокладкой инженерных коммуникаций через отверстия в перфорированной балке

5.4.4. Огнезащита

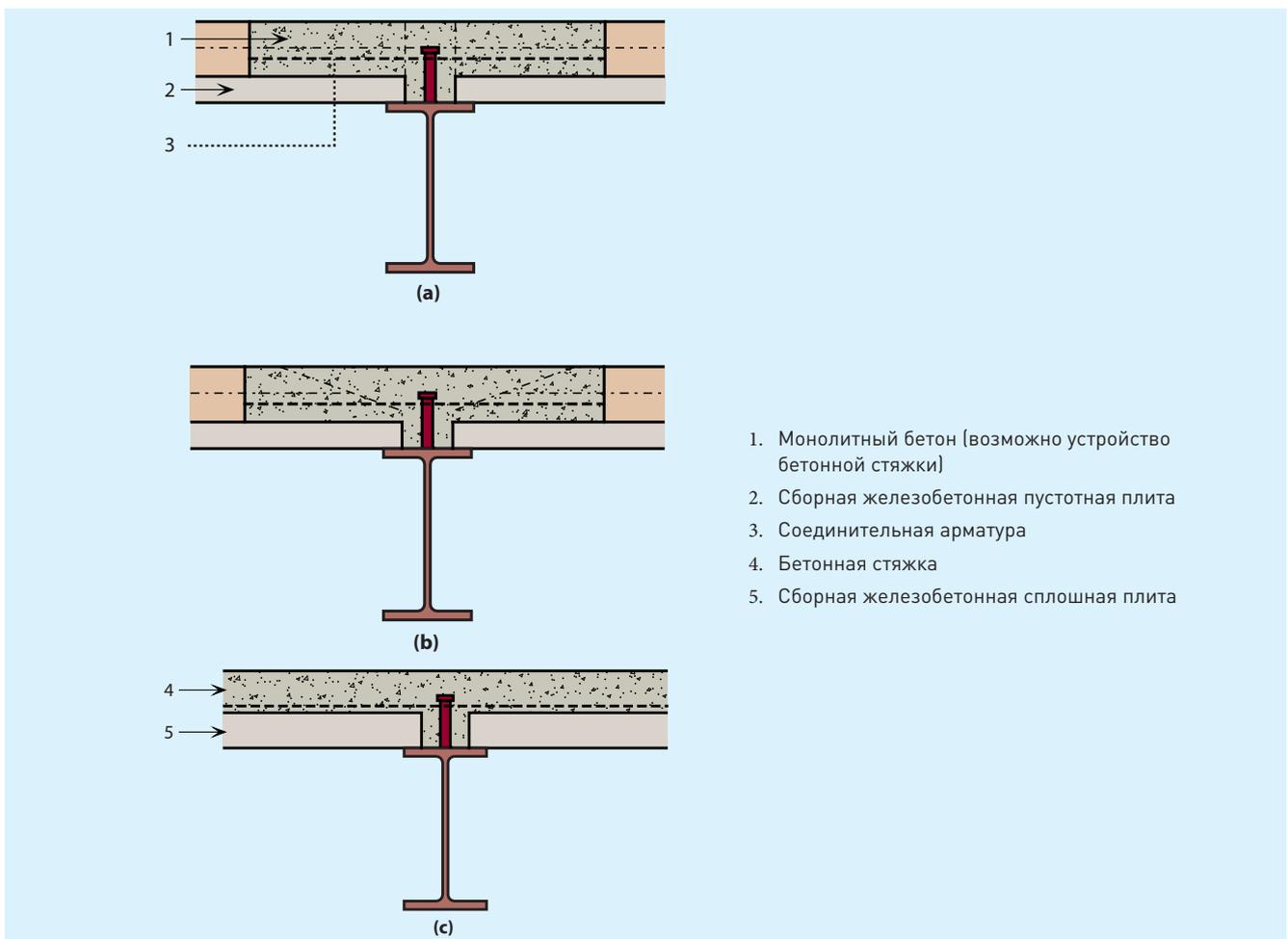
Наиболее предпочтительной системой противопожарной защиты перфорированных балок являются вспучивающиеся огнестойкие покрытия, которые обычно наносятся в заводских условиях. Соответствующие рекомендации можно найти в [7].

5.5. Композитные сталежелезобетонные балки со сборными железобетонными плитами

5.5.1. Описание и характеристики

Данная конструктивная система перекрытий состоит из стальных балок со стад-болтами, приваренными к верхнему поясу балок в заводских условиях. На балки опираются сборные железобетонные плиты. Монтажные швы, расположенные между отдельными плитами в месте их опирания на балки, заполняются монолитным бетоном. Часто поверх плит укладывается бетонная стяжка. Сборные железобетонные плиты могут быть пустотными толщиной 150–260 мм или сплошными толщиной 75–100 мм.

Для обеспечения конструктивной целостности и совместной работы опорного сечения края сборных железобетонных плит могут иметь скосы или выемки, облегчающие укладку бетонной смеси, что способствует ее полному сцеплению со стад-болтами. В процессе изготовления в пустотных плитах выполняются специальные узкие отверстия для заделки арматурных стержней, соединяющих сборные плиты, расположенные с обеих сторон стальной балки, как показано на рисунке 5.11. Длина заделки обычно составляет около 600 мм.



1. Монолитный бетон (возможно устройство бетонной стяжки)
2. Сборная железобетонная пустотная плита
3. Соединительная арматура
4. Бетонная стяжка
5. Сборная железобетонная сплошная плита

Рисунок 5.11. Узлы опирания сборных плит на композитные балки:
 (а) пустотная плита с прямоугольными краями
 (б) пустотная плита со скошенными краями
 (в) сплошная плита

Стад-болты и соединительная арматура обеспечивают передачу продольных сдвигающих усилий от стальной балки на сборные железобетонные элементы и бетонную стяжку. Однако в соответствии с нормами проектирования учет совместной работы стальных и бетонных элементов возможен только при ширине зазора между сборными плитами, где устанавливаются стад-болты, не менее 50 мм. Если стад-болты привариваются к стальной балке на строительной площадке, то соответствующий зазор должен составлять не менее 65 мм. Несущая способность стад-болтов зависит от качества сцепления с бетоном, поэтому часто используются бетонные смеси, в которых наибольшая фракция заполнителя не превышает 10 мм. В опорной зоне отверстия в пустотных плитах должны быть замоноличены на глубину не менее диаметра отверстия для обеспечения эффективной совместной работы и достаточной огнестойкости композитной конструкции.

Минимальная ширина верхней полки стальной балки должна обеспечивать достаточную длину площадки опирания сборных плит, а также зазор между плитами, необходимый для эффективной работы стад-болтов. Соответствующие рекомендации приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5. Минимальная ширина верхнего пояса стальной балки для опирания сборных плит

ШИРИНА ПОЛОК		
Сплошная плита толщиной 75-100 мм	Рядовая балка	180 мм
	Крайняя балка	210 мм
Пустотная плита	Рядовая балка	180 мм
	Крайняя балка	210 мм
Некомпозитная крайняя балка		120 мм

Крайние балки обычно проектируются как некомпозитные. В этом случае стад-болты, которые привариваются к балке на строительной площадке через отверстия в сборных плитах, служат для обеспечения целостности и устойчивости перекрытия. Крайние балки, являющиеся частью композитной конструкции перекрытия, имеют более широкие полки и требуют тщательной проработки деталей установки П-образных арматурных стержней с заделкой их в отверстия в сборных железобетонных плитах.

Во избежание потери устойчивости из плоскости, вызванной кручением балки при несимметричном приложении нагрузок в процессе монтажа, необходимо уменьшить расчетную длину балки, установив временные связи. Полностью исключить деформации кручения возможно только при использовании жестких связевых конструкций, элементы которых имеют достаточно большие сечения, или созданием эффекта жесткой рамы, состоящей из балок и элементов связей с жесткими узлами.

5.5.2. Пролеты балок и критерии проектирования

Минимальная ширина большепролетных второстепенных балок должна быть достаточной, чтобы обеспечить безопасные условия опирания сборных железобетонных плит, как показано в таблице 5.5. На основании указанных в таблице геометрических параметров можно сделать вывод, что минимально необходимый размер поперечного сечения имеет двутавр IPE400. Главные балки, расположенные параллельно пролету сборных плит, не являются композитными.

Крайние балки обычно проектируются как некомпозитные, а соединение их с железобетонными плитами выполняется с целью обеспечения целостности и надежности перекрытия в целом.

Во всех случаях необходимо устанавливать арматурные стержни, объединяющие отдельные сборные железобетонные плиты в единую конструкцию, как показано на рисунке 5.11 и 5.12.

В процессе проектирования необходимо проверить прочность и жесткость балок на кручение, а также выполнить проверку устойчивости из плоскости при действии крутящего момента, вызванного нагрузками, приложенными в стадии строительства только с одной стороны от балки. Обычно именно эти два условия являются определяющими.



Рисунок 5.12. Устройство композитного перекрытия со сборными железобетонными пустотными плитами – установка соединительных арматурных стержней в специально предусмотренные отверстия

5.5.3. Прокладка инженерных коммуникаций

Прокладка основных инженерных коммуникаций выполняется под балками, при этом крупные узлы инженерной разводки располагаются в пространстве между балками. Общая толщина конструкции перекрытия составляет 1200 мм, включая трубопроводы и подвесной потолок. В случае наличия отверстий в стенках балок, их необходимо проектировать как некомпозитные элементы.

5.5.4. Огнезащита

Для обеспечения огнезащиты балок, на которые опираются сборные железобетонные плиты, обычно используются напыляемые огнезащитные составы, листовые обшивки или вспучивающиеся покрытия.

Соединительные арматурные стержни должны быть тщательно заанкерованы в сборные железобетонные плиты. Минимальная длина аркеровки – 600 мм. Для огнестойкости 90–120 мм минимальная требуемая толщина защитного слоя бетона составляет 50 мм.

5.6. Некомпозитные балки со сборными железобетонными плитами**5.6.1. Описание и характеристики**

Сборные железобетонные плиты могут опираться на верхние полки стальных балок, либо на «полочки» из уголков. Используются пустотные плиты толщиной от 150 до 400 мм или сплошные плиты толщиной 75–100 мм. Пустотные сборные железобетонные плиты могут иметь пролет до 15 м при толщине 400 мм и более. Пример большепролетной сборной железобетонной плиты, опирающейся на стальные балки, показан на рисунке 5.13.

Стальные опорные уголки крепятся к стенке балки на болтах или на сварке. Горизонтальная полка опорного уголка должна быть достаточно длинной, чтобы обеспечить безопасную зону опирания для сборных плит, а также удобство их монтажа под верхней полкой балки. Сборные железобетонные плиты устанавливаются в проектное положение на цементный раствор. Поверх сборных плит может укладываться бетонная стяжка (иногда армированная) или устраиваться фальшпол.



Рисунок 5.13. Монтаж большепролетных сборных железобетонных плит на стальные балки

Для обеспечения устойчивости балки «из плоскости» при действии крутящих моментов, вызванных нагружением балки в процессе монтажа только с одной стороны, необходимо уменьшить ее расчетную длину, установив временные связи.

Для обеспечения целостности конструкции перекрытия в некоторых случаях необходимо устройство армированной стяжки либо соединение сборных плит с помощью отдельных арматурных стержней, которые, проходя сквозь отверстия в стенке стальной балки, устанавливаются и замоноличиваются в специальных выемках сборных железобетонных элементов. Также может быть необходимо соединить сборные плиты с крайней балкой.

5.6.2. Пролеты балок и критерии проектирования

При расчете балок необходимо учитывать нагрузки, приложенные к балке на стадии монтажа (сборная плита установлена только с одной стороны балки). В этом случае может потребоваться установка временных связей. Те балки, к которым нагрузки приложены только с одной стороны на стадии эксплуатации, должны быть запроектированы с учетом крутящего момента.

При опирании сборных плит на верхнюю полку балки, полка должна иметь ширину как минимум 180 мм, чтобы обеспечить достаточную длину зоны опирания и зазор шириной 30 мм между сборными плитами, как показано на рисунке 5.14.

Горизонтальная полка опорных уголков должна быть шире полки балки как минимум на 50 мм. Минимальный зазор между краями сборной плиты и полки стальной балки составляет 25 мм, как показано на рисунке 5.15.

При расчете балок определяющими являются проверки на кручение и совместное действие продольного изгиба с кручением на стадии монтажа, когда нагрузки приложены только с одной стороны.

5.6.3. Прокладка инженерных коммуникаций

Разводка трубопроводов основных инженерных систем выполняется под балками с размещением крупных узлов между балками.

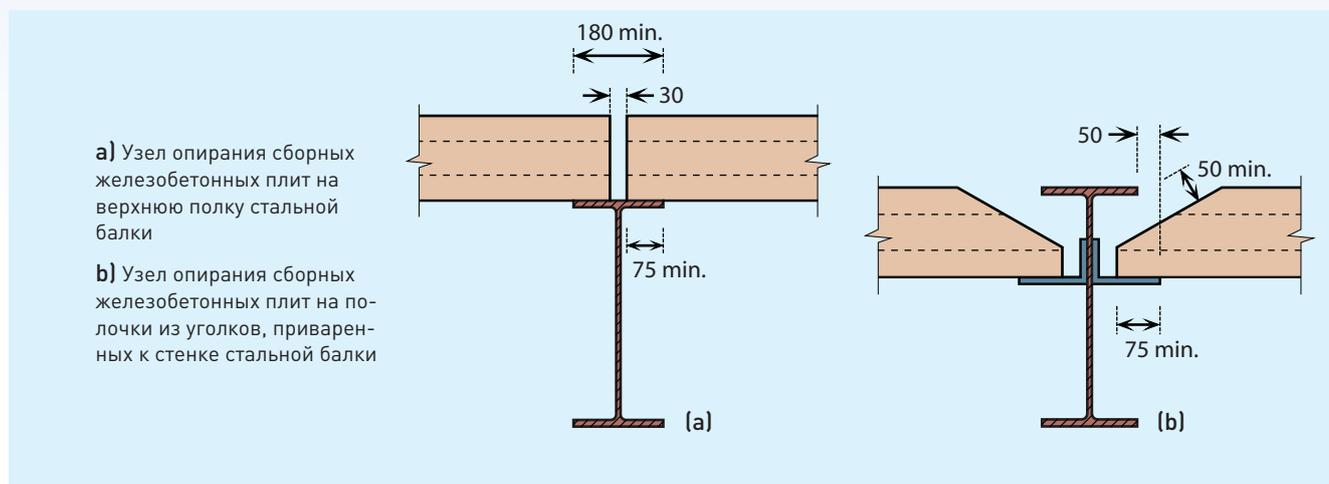


Рисунок 5.14. Узлы опирания сборных железобетонных плит на стальные балки в некомпозитных перекрытиях

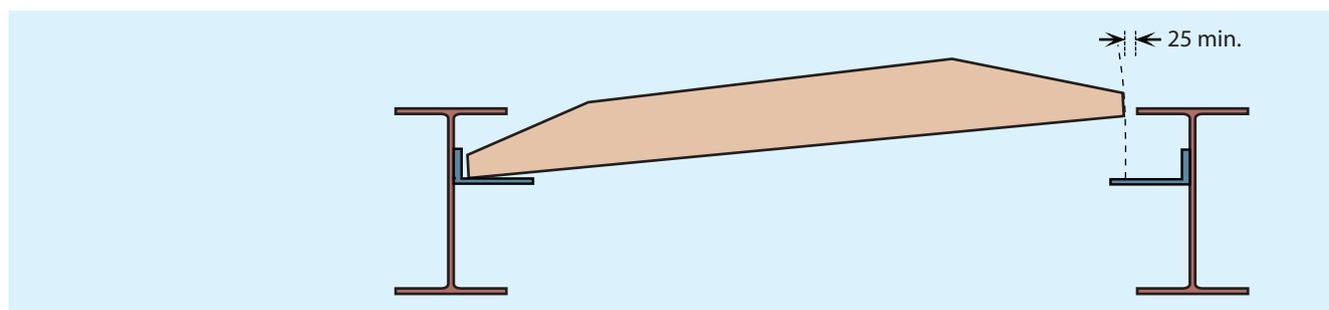


Рисунок 5.15. Опирание сборных плит на стальные балки с опорными уголками и требуемые зазоры

5.6.4. Огнезащита

Огнезащита стальных балок может обеспечиваться напылением огнезащитных составов, устройством листовой обшивки или нанесением вспучивающихся покрытий. Огнестойкость балок с опорными уголками может составлять 30 мин. в случае расположения горизонтальной полки уголка ниже его вертикальной полки, что способствует сохранению относительно низкой температуры опорного уголка во время пожара.

5.7. Перекрытия со встроенными балками и сборными железобетонными плитами

5.7.1. Описание и основные характеристики

Сборные железобетонные плиты могут использоваться в составе конструктивных систем перекрытий со встроенными балками, в которых балки устанавливаются в пределах толщины плиты, как показано на рисунке 5.16. Обычно применяются балки двух видов:

- Балка, изготовленная из широкополочного двутаврового профиля Н с приваренной к нижней полке стальной пластиной толщиной 15 мм, края которой выступают как минимум на 100 мм с каждой стороны полки двутавра, создавая тем самым площадки опирания для сборных железобетонных плит.
- Тавровая балка, изготовленная из разрезанного вдоль стенки узкополочного двутаврового профиля I, с приваренной к стенке пластиной толщиной 20 мм.

Для объединения сборных плит в единую конструкцию рекомендуется устройство армированной стяжки толщиной как минимум 50 мм. Для обеспечения целостности перекрытия при отсутствии стяжки сборные железобетонные плиты, опирающиеся на балку с разных сторон, необходимо соединить с помощью арматурных стержней, проходящих через отверстия в стенке стальной балки.

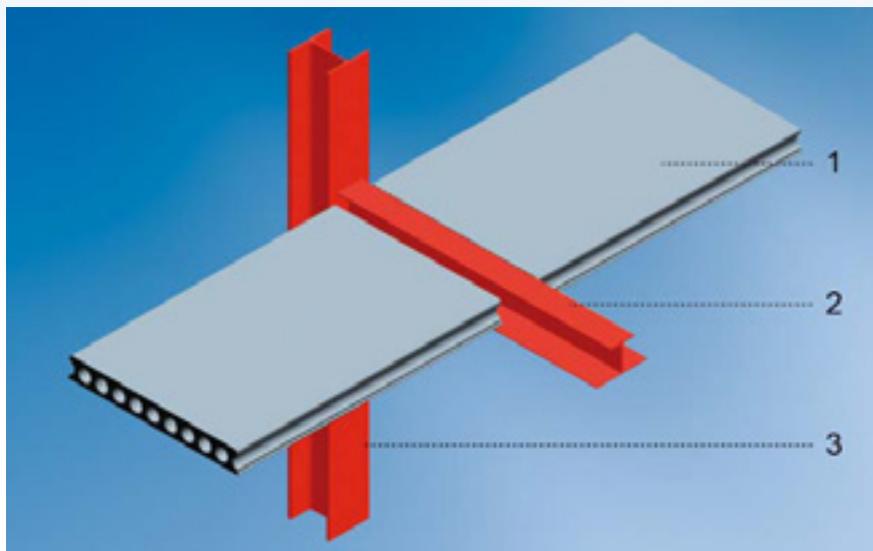


Рисунок 5.16. Сборные железобетонные плиты со встроенной балкой

- 1 – Сборная пустотная плита
- 2 – Встроенная балка
- 3 – Колонна

Для устройства перекрытий с композитными встроенными балками к верхней полке стального сечения привариваются стад-болты, обычно диаметром 19 мм и длиной 70 мм. Затем поперек балок устанавливаются арматурные стержни, которые либо заводятся в специально предусмотренные выемки в сборных плитах, либо укладываются поверх сборных плит небольшой толщины. Если балки проектируются как композитные конструкции, то верхний защитный слой бетона должен составлять, как минимум, 15 мм для стад-болтов и 60 мм для сборных плит.

На рисунке 5.17 показана схема расположения несущих конструкций здания со встроенными балками пролетом 6 м и сборными железобетонными плитами пролетом 7,5 м. В этом случае толщина сборных плит составляет 200 мм, а толщина стяжки – 60 мм. Крайние балки, выполненные из узкополочных двутавров IPE, спроектированы как некомпозитные и расположены под сборными плитами. Стад-болты, установленные на крайних балках, служат только для обеспечения целостности конструкции. В этом случае армированная стяжка может быть выполнена заподлицо с верхней полкой рядовых стальных балок, как показано на рисунке 5.18.

5.7.2. Пролеты балок и критерии проектирования

В идеальном случае пролеты сборных железобетонных плит и стальных балок должны быть оптимизированы так, чтобы обеспечивалось соответствие толщины плит и высоты балок. Балки, нагруженные только с одной стороны, имеют сравнительно большие сечения из-за возникающих в них крутящих усилий. Кручение также необходимо учитывать в расчетах балок на монтажные нагрузки, приложенные на этапе строительства. Наиболее экономичной является конструктивная схема перекрытия, в которой сборные железобетонные плиты опираются на стальные балки, параллельные продольной оси здания, и на опорную верхнюю полку встроенных в стену крайних балок. Установка сборных железобетонных плит параллельно продольной оси здания с опиранием на поперечные балки менее рациональна.

В случае учета композитной работы крайних балок требуется тщательная проработка арматурных деталей с установкой П-образных стержней вокруг стад-болтов с их анкерровкой в тело сборной плиты или в стяжку. Поэтому предпочтительно проектировать крайние балки как некомпозитные.

При выполнении расчетов определяющими являются проверка на кручение, а также на этапе строительства – проверка на действие продольного изгиба с кручением (нагрузка приложена с двух сторон балки) и на совместное действие кручения и продольного изгиба с кручением (нагрузка приложена с одной стороны балки). Определяющим также может оказаться расчет на прогибы.

Типовые размеры встроенных балок двух видов (широкополочная двутавровая балка с приваренной к нижнему поясу пластиной и тавровая узкополочная балка с приваренной к стенке пластиной) представлены в таблицах 5.6 и 5.7 соответственно.

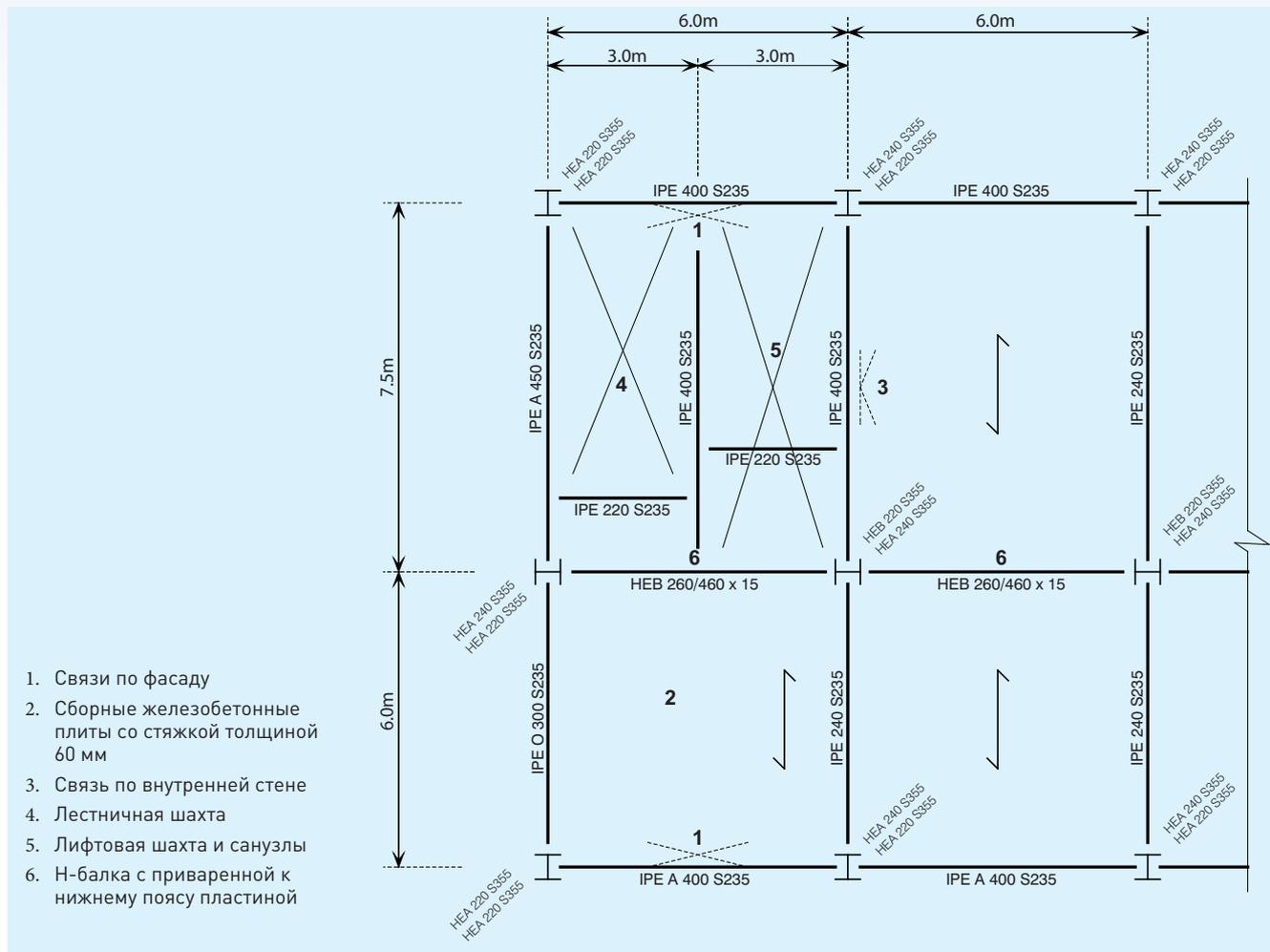


Рисунок 5.17. Конструктивная схема 4-этажного прямоугольного здания (центральная балка – стальной профиль Н с приваренной к нижнему поясу пластиной, крайние балки расположены под сборными плитами)

5.7.3. Прокладка инженерных коммуникаций

Беспрепятственный доступ к инженерным коммуникациям обеспечивается благодаря тому, что нижняя поверхность перекрытия является плоской.

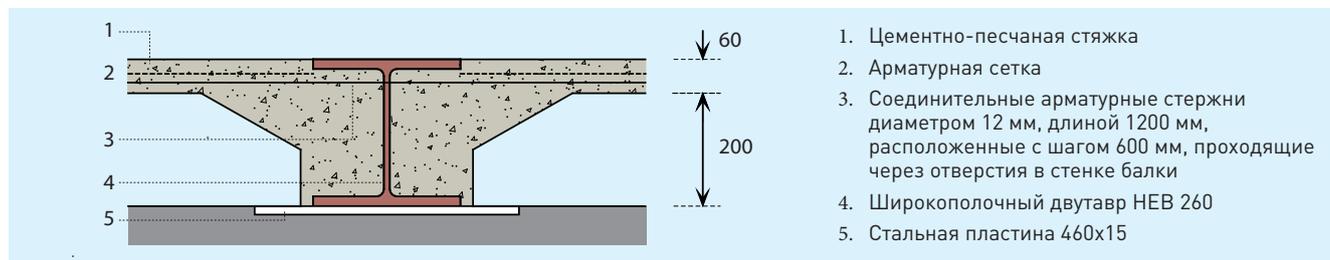


Рисунок 5.18. Типовое сечение перекрытия со встроенными балками и сборными плитами

5.7.4. Огнезащита

Обетонированные стальные балки обычно имеют огнестойкость до 60 мин. без выполнения дополнительной огнезащиты.

Для обеспечения огнестойкости 90 мин. полки балки необходимо защитить с помощью вспучивающихся покрытий или листовой обшивки. Важно тщательно проработать детализовку соединительной арматуры, особенно для пустотных плит, в которых примыкающие к стальным балкам пустоты необходимо заполнить цементным раствором.

Таблица 5.6. Сечения и пролеты балок, состоящих из широкополочных двутавровых профилей HE и приваренных к нижней полке стальных пластин

ПРОЛЕТ ПЛИТЫ, М	ПРОКАТНОЕ СЕЧЕНИЕ И ПРОЛЕТ ВСТРОЕННОЙ БАЛКИ			
	5 М	6 М	7М	8 М
5	HE 200A	HE 240A	HE 280A	HE 300A
6	HE 240A	HE 280A	HE 300A	HE 280A
7	HE 280A	HE 300A	HE 280B	HE 300B
8	HE 280A	HE 280B	HE 300B	HE 320B

Толщина плиты равна высоте балки плюс 50 мм бетонной стяжки.
Приваренная к нижней полке пластина на 150 мм шире соответствующего HE профиля.

Таблица 5.7. Сечения и пролеты балок, вырезанных из узкополочных двутавровых профилей IFB с приваренной к стенке стальной пластиной

ПРОЛЕТ ПЛИТЫ, М	ПРОКАТНОЕ СЕЧЕНИЕ И ПРОЛЕТ ВСТРОЕННОЙ БАЛКИ			
	5 М	6 М	7М	8 М
5	IPE 400	IPE 500	IPE 550	IPE 600
6	IPE 500	IPE 550	IPE 600	HE 500A
7	IPE 550	IPE 600	HE 500A	HE 600A
8	IPE 600	HE 500A	HE 600A	HE 600B

Прокатная балка указанного сечения разрезается напополам.
Во всех случаях приваривается пластина толщиной 20 мм.

5.8. Неравнополочные балки в перекрытиях по профнастилу с высоким гофром

5.8.1. Описание и характеристики

Неравнополочные балки применяются для опирания композитных сталежелезобетонных плит по профнастилу с высоким гофром. Неравнополочные балки представляют собой горячекатаные стальные двутавры, у которых нижняя полка шире верхней. Для лучшего сцепления с бетоном верхняя полка может иметь рифленую поверхность, что обеспечивает композитную работу сталежелезобетонного сечения балки без установки стад-болтов. Профнастил опирается на нижние полки балки и воспринимает нагрузки, приложенные на стадии строительства.

Обычно пролет профнастила составляет от 6 до 9 м при толщине плиты 280–350 мм. Установка временных стоек на стадии строительства необходима в том случае, если пролет плиты превышает 6 м. Установленные в гофрах арматурные стержни диаметром 16–25 мм обеспечивают достаточно высокую огнестойкость.

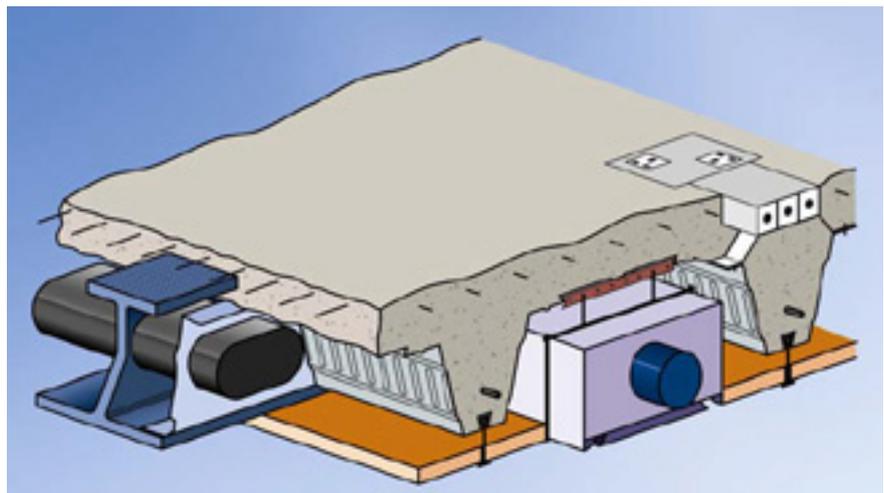
Обычно высота неравнополочных балок составляет примерно 300 мм. Толщина стенки прокатных профилей равна или больше толщины полок, что обеспечивает огнестойкость 60 мин. без дополнительных мер по огнезащите (для типовых офисных нагрузок).

Инженерные коммуникации могут быть встроены в конструкцию перекрытия, проходя через удлиненные отверстия в стенках балок и располагаясь между гофрами плиты, как показано на рисунке 5.19.

Для крайних балок используются коробчатые или двутавровые профили. Связи, которые обычно выполняются из уголков, одна полка которых забетонирована в плиту перекрытия, обеспечивают раскрепление колонн в направлении перпендикулярном главным балкам.

Поверх балок в монолитную плиту укладывается арматурная сетка: 200×200×6 мм – для огнестойкости 60 мин., 200×200×7 мм – для огнестойкости 90 мин. Если верхняя поверхность плиты расположена заподлицо с верхней полкой балки, то для обеспечения целостности конструкции необходимо объединить плиты, опирающиеся на балку с разных сторон, соединительными арматурными стержнями (обычно диаметром 12 мм и с шагом 600 мм), пропустив их сквозь отверстия в стенке балки. Если толщина бетона над верхней полкой балки составляет меньше 30 мм, то балка проектируется как некомпозитная.

Рисунок 5.19. Прокладка инженерных коммуникаций в перекрытии с неравнополочными балками



5.8.2. Пролеты балок и критерии проектирования

Для того чтобы избежать необходимости установки временных стоек на этапе строительства, пролет профнастила с высоким гофром не должен превышать 6 м при толщине плиты 300 мм. Максимальный пролет неравнополочных балок находится в пределах от 6 до 10 м в зависимости от размеров их поперечного сечения и шага, с которым они установлены.

5.8.3. Прокладка инженерных коммуникаций

Данное конструктивное решение обеспечивает беспрепятственную прокладку инженерных коммуникаций ниже плиты перекрытия. Коммуникации и трубопроводы небольшого размера (диаметром до 160 мм) могут проходить через отверстия в стенке балки и между гофрами профнастила, как показано на рисунке 5.20. При разработке основных проектных решений с использованием неравнополочных балок можно принимать указанные ниже толщины пирога перекрытия:

600–800 мм, включая фальшпол и системы освещения;
800–1000 мм, включая фальшпол и системы кондиционирования воздуха.

1. Фальшпол
2. Трубопроводы, проходящие через отверстия в балках
3. Фанкойлы системы кондиционирования воздуха
4. Подвесной потолок и электроосвещение

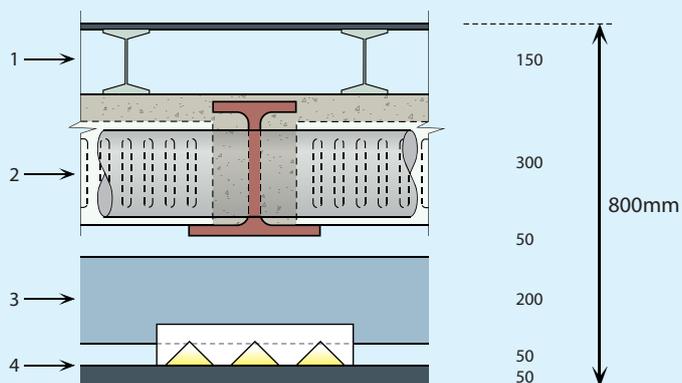


Рисунок 5.20. Типовая конструкция перекрытия с неравнополочными балками и плитой по профнастилу с высоким гофром

5.8.4. Огнезащита

Неравнополочные балки с утолщенной обетонированной стенкой и верхней полкой не требуют дополнительной огнезащиты для обеспечения огнестойкости 60 мин.

В других случаях для обеспечения огнестойкости свыше 30 мин. можно выполнить обшивку нижней полки балки листовыми огнезащитными материалами.

5.9. Проектирование и детализровка узлов балочных конструкций

Во всех конструкциях перекрытий, описанных выше, используются шарнирные узлы, в которых теоретически не возникает крутящих моментов. На практике такие соединения должны быть достаточно податливыми, чтобы допускать некоторый поворот узла.

Узлы балок, в которых возникают крутящие усилия (например, встроенные балки), обычно представляют собой фланцевые соединения с использованием торцевых пластин, приваренных к стенке и полкам балок на полную высоту поперечного сечения. При проектировании любых балочных конструкций перекрытий необходимо всегда предусматривать либо установку временных связей, либо выполнение узлов, способных воспринимать крутящие усилия, возникающие в балках в процессе монтажа.

При использовании фланцевых соединений узлы балок не могут рассматриваться как шарнирные, за исключением случаев, когда толщина торцевой пластины меньше половины диаметра болта (для стали класса S275). Уполномоченные контролирующие организации могут потребовать предоставить соответствующие расчеты, подтверждающие правильность детализровки узлов.

5.9.1. Узлы опирания балок на колонны

При отсутствии крутящих усилий узлы обычно проектируются как шарнирные с учетом только поперечных сил. Используются стандартные детали на усмотрение компании-подрядчика по монтажу металлоконструкций. На рисунке 5.21 показаны стандартные узлы опирания балок на колонны, такие как фланцевые соединения с гибкими торцевыми пластинами, соединения на пластинах, приваренных к полке колонны, или болтовые соединения на двойных уголках. Такие узлы рассматриваются как шарнирные в случае, если пластины и уголки имеют сравнительно малую толщину (10 мм для стали класса S275). Вопросы проектирования шарнирных узлов рассматриваются подробно в книге «Многоэтажные стальные здания. Часть 5. Проектирование узлов и соединений металлоконструкций» [8].

Фланцевые соединения чаще используются для сопряжения балок с колоннами, а сварные – для сопряжения балок и ригелей.

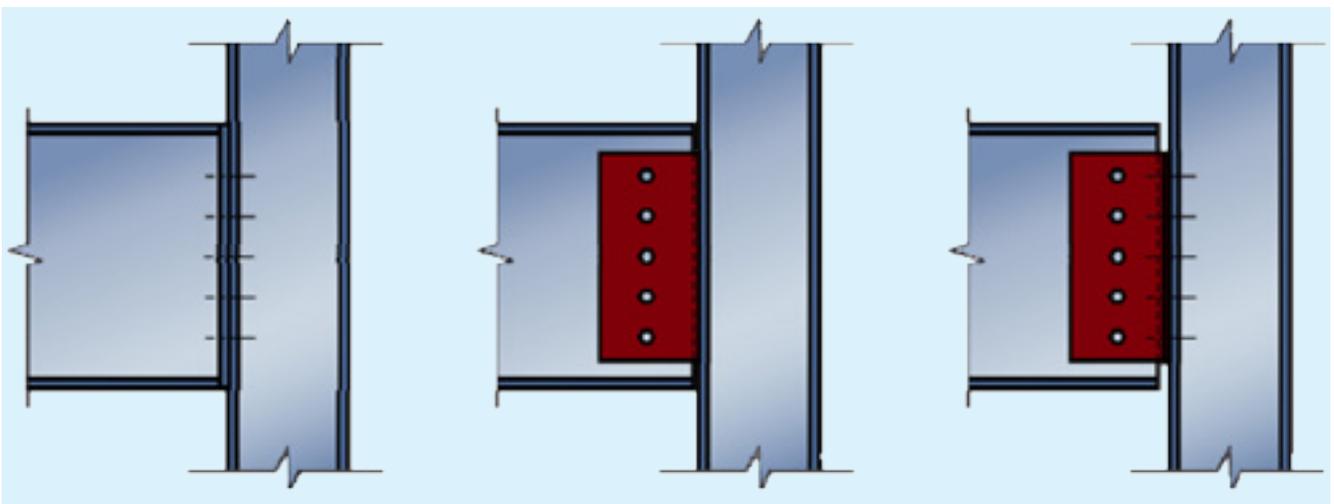


Рисунок 5.20. Шарнирные узлы: а) фланцевое, б) сварное, в) болтовое соединение на двойных уголках

5.9.2. Узлы сопряжения двух балок

Если верхние полки главной и второстепенной балок находятся в одном уровне, в верхней полке второстепенной балки необходимо выполнить вырез, как показано на рисунке 5.22.

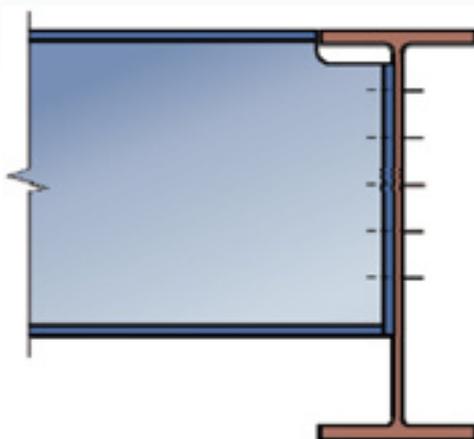


Рисунок 5.22. Узел опирания второстепенной балки на главную

5.9.3. Узлы балок с торцевыми пластинами

Узлы балок, воспринимающих крутящие усилия, выполняются в виде фланцевых соединений с использованием торцевой пластины, приваренной к стенке и полкам на полную высоту профиля, как показано на рисунке 5.23.

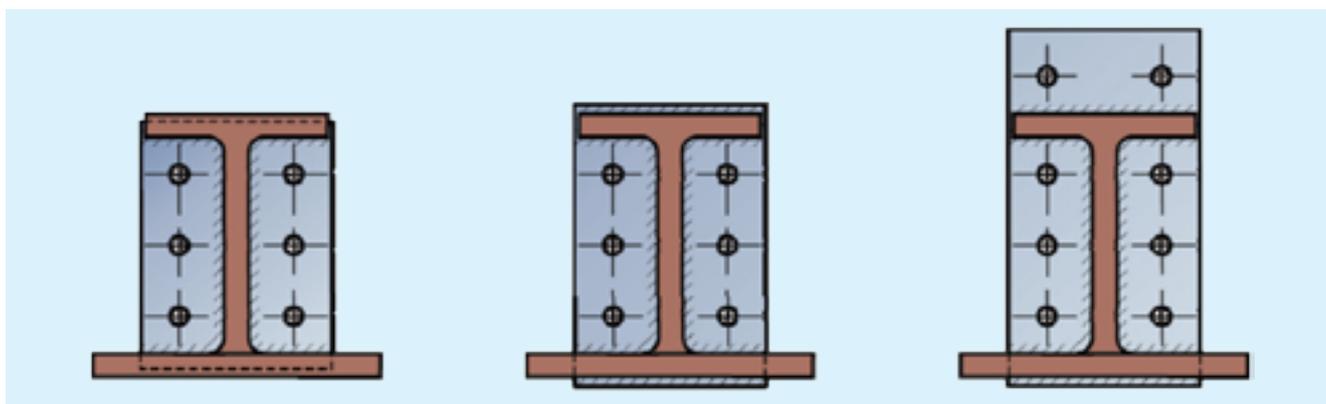


Рисунок 5.23. Фланцевые соединения балок с торцевыми пластинами

Обычно проектированием узлов металлоконструкций занимается подрядная организация, выполняющая монтажные работы. Проектировщик основного несущего каркаса должен предоставить информацию о величинах поперечных сил и крутящих моментов, приложенных в узлах конструктивных элементов и на стадии эксплуатации, и на стадии монтажа, когда крутящие моменты могут быть вызваны нагрузками, приложенными несимметрично относительно продольной оси элемента. В этом случае несущая способность сварных швов и болтовых соединений должна быть проверена с учетом совместного действия крутящих и поперечных усилий.

6 Прочие аспекты проектирования

Рассматриваемые в этом разделе проектные вопросы оказывают влияние на основные проектные решения здания в целом, включая конструктивный раздел.

6.1. Особые нагрузки и воздействия

В соответствии с требованиями EN1990 несущие конструкции зданий должны быть запроектированы на восприятие особых нагрузок. EN 1991-1-7 регламентирует расчетные ситуации, которые должны учитывать как проектные, так и непредвиденные особые воздействия. Стратегия проектирования, подходящая для каждого конкретного случая, зависит от принадлежности здания к одному из трех классов последствий разрушения, которые определены в EN1990. В EN1991-1-7 один из классов разделен на отдельные категории. Все категории зданий представлены в таблице А.1 Еврокода EN 1991-1-7.

Для проектных особых нагрузок стратегии проектирования предусматривают проведение мероприятий, которые исключают возможность реализации особых воздействий. Но в более общем случае, как для проектных, так и для непредвиденных особых воздействий, конструкция должна быть запроектирована с учетом соответствующего уровня «живучести», определяемой как:

«Способность конструкции противостоять таким воздействиям, как пожар, взрывы; влияние ошибок, вызванных человеческим фактором, без возникновения повреждений/отказов в функционировании, которые были бы непропорциональны причине, вызвавшей повреждения.»

В случае непредвиденных особых нагрузок стратегия обеспечения живучести определяется разделом 3.3 Еврокода EN1991-1-7, в соответствии с которым:

«...потенциальное разрушение конструкции в связи с возникновением непредвиденного случайного воздействия должно быть предотвращено... путем использования одного или нескольких следующих подходов:

- а) проектирование ключевых элементов несущих конструкций, от которых зависит конструктивная целостность здания, на восприятие особых воздействий;*
- б) проектирование конструкции таким образом, чтобы локальное разрушение (т. е. разрушении одного элемента) не угрожало ни конструктивной целостности всей конструкции, ни какой-либо ее значительной части;*
- в) выполнение минимальных конструктивных требований к проектированию и детализовке, которые обеспечивают приемлемую живучесть конструкции (например, пространственные системы связей для дополнительной целостности либо минимальный уровень податливости конструктивных элементов, подверженных ударным воздействиям).»*

Особые нагрузки и воздействия

Учет динамических воздействий на перекрытия

Защита от коррозии

Температурные воздействия

Пожаробезопасность

Акустические требования

Энергоэффективность

Фасады

6.1.1. Классификация последствий разрушения

EN1990 определяет три класса последствий разрушения:

- СС1 Незначительные последствия разрушения
- СС2 Средние последствия разрушения
- СС3 Тяжелые последствия разрушения

В EN1991-1-7 класс СС2 в свою очередь подразделен на СС2а (группа низкого риска) и СС2б (группа высокого риска). Здания средней этажности в большинстве своем попадают в группу СС2б. Примеры зданий категории СС2б, приведенные в таблице А1 EN1991-1-7, включают:

Таблица 6.1. Пример зданий указанной категории (из таблицы А.1 EN1991-1-7)

КЛАСС ПОСЛЕДСТВИЙ	ПРИМЕРЫ ЗДАНИЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ К УКАЗАННОЙ КАТЕГОРИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАЗНАЧЕНИЯ И РАЗМЕРОВ
2В Группа высокого риска	Гостиницы, квартиры, апартаменты и другие жилые здания от 4 до 15 этажей
	Здания учебных заведений от 1 до 15 этажей
	Торговые здания от 3 до 15 этажей
	Офисные здания от 4 до 15 этажей
	Все общественные здания, в которых площадь какого-либо этажа составляет от 2000 до 5000 м ²

Стратегии, рекомендованные для зданий, относящихся к классу 2б, предусматривают либо проектирование с учетом локального разрушения (см. раздел 6.1.2), либо проектирование колонн как ключевых элементов (см. раздел 6.1.6).

6.1.2. Проектирование с учетом последствий локального разрушения в многоэтажных зданиях

В многоэтажных зданиях требования жизнеспособности обычно приводят к конструктивным схемам, в горизонтальных элементах которых могут возникнуть растягивающие усилия, вызванные взаимодействием колонн с остальными элементами несущего каркаса здания. Это означает, что удаление какой-либо колонны несущего каркаса, даже в пределах одного этажа, приведет к нарушению конструктивной целостности всего здания. Однако в случае разрушения колонны в результате случайного (аварийного) воздействия, диски перекрытий должны сработать как система подвесок для колонн вышележащих этажей, ограничивая масштаб обрушений.

Необходимо заметить, что данные требования не предполагают возможность нормальной эксплуатации конструкции после аварийного воздействия, но нацелены на ограничение масштаба повреждений с целью предотвращения прогрессирующего разрушения.

6.1.3. Горизонтальные связевые диафрагмы

Приложение А.5 Еврокода EN 1991-1-7 содержит рекомендации по установке горизонтальных связей в рамных каркасах зданий. В нем приведены формулы для определения требуемой расчетной несущей способности внутренних связей и связей по периметру. Вычисленное растягивающее усилие в связях в общем случае равно вертикальной поперечной силе.

Горизонтальные растягивающие усилия могут восприниматься не только стержневыми элементами несущего каркаса здания. Например, композитное железобетонное перекрытие может служить в качестве горизонтальной диафрагмы жесткости, объединяющей колонны в единый блок, только при условии, что перекрытия были запроектированы на восприятие диафрагменных усилий. Может понадобиться установка дополнительного усиления, а также тщательная детализировка узлов опирания перекрытия на колонны (особенно на периметральные колонны), чтобы обеспечить передачу диафрагменных усилий между колонной и плитой.

Необходимо заметить, что в случаях, когда горизонтальные растягивающие усилия должны восприниматься только стержневыми элементами стального каркаса, соответствующий расчет стержневых элементов выполняется абсолютно независимо от расчета на вертикальные нагрузки. Вертикальные и горизонтальные растягивающие усилия никогда не возникают одновременно. Более того, при проектировании на горизонтальные растягивающие усилия игнорируется стандартное требование к работоспособности конструктивных элементов и их узлов под действием проектных нагрузок, поскольку «значительные постоянные деформации элементов и их соединений являются допустимыми». Руководство по проектированию узлов на восприятие растягивающих усилий приводится в томе «Многоэтажные стальные здания. Часть 5. Проектирование и расчет узлов» [8].

6.1.4. Объединение сборных железобетонных элементов перекрытий

В соответствии с требованиями раздела А.5.2 (2) EN 1991-1-7, бетонные или другие тяжелые сборные элементы, используемые в конструкциях перекрытий, должны быть связаны в направлении своих пролетов. Цель данного требования заключается в том, чтобы избежать падения элементов перекрытий или сборных панелей сквозь несущие конструкции металлокаркаса в случае смещения или удаления какого-либо стального стержневого элемента в результате значительных повреждений. Отдельные плиты должны быть связаны друг с другом через опорные элементы металлокаркаса, а также соединены с периметральной балкой. Расчетные растягивающие усилия могут быть определены в соответствии с разделом 9.10.2 Еврокода EN 1992-1-1.

6.1.5. Вертикальные связевые диафрагмы

В разделе А.6 Еврокода EN1991-1-7 приводятся основные положения по проектированию вертикальных элементов несущего каркаса здания на восприятие вертикальных растягивающих усилий. В этом разделе рекомендуется, чтобы несущая способность монтажных стыков колонн на растяжение была равна максимальному значению суммы расчетных постоянных и временных нагрузок, приложенных к колонне на каком-либо этаже. На практике данное требование не является обременительным, поскольку большинство монтажных стыков, надлежащим образом запроектированных на восприятие монтажных нагрузок, скорее всего, будут иметь достаточную прочность и жесткость для восприятия осевых растягивающих усилий. Руководство по проектированию монтажных стыков колонн на восприятие растягивающих усилий приведено в другом томе из данной серии публикаций: «Многоэтажные стальные здания. Часть 5. Проектирование и расчет узлов».

6.1.6. Ключевые элементы

Раздел А.8 Еврокода EN1991-1-7 содержит руководство по проектированию ключевых элементов. Рекомендуется, чтобы несущая способность ключевых элементов была достаточной для восприятия особых (аварийных) нагрузок величиной A_d , приложенных поочередно в горизонтальном и в вертикальном направлениях как к самому элементу, так и к примыкающим к нему конструкциям. Рекомендуемая величина A_d для каркасов зданий составляет 34 кН/м^2 . Любой другой конструктивный элемент, обеспечивающий боковую устойчивость ключевого элемента, должен также проектироваться как ключевой элемент.

6.1.7. Оценка рисков

Анализ и оценка рисков должны выполняться для зданий, относящихся к классу 3 по последствиям разрушения, с использованием специальных методов, которые представлены в приложении В Еврокода EN1991-1-7. В этом приложении приводятся методики расчетов с учетом особенностей и специфики гражданских зданий.

6.2. Учет динамических воздействий на перекрытия

Динамический анализ начинается с расчета частот собственных колебаний перекрытия и проверки выполнения нормативных требований, установленных национальными стандартами или техническими руководствами. Такие нормативные требования в разных странах могут различаться. Если частота собственных колебаний перекрытия превышает 4 Гц, то, как правило, конструктивное решение перекрытия считается удовлетворительным. Таким образом, частота собственных колебаний перекрытия в два раза больше частоты колебаний, вызванных быстрой ходьбой. Хотя для оживленных производственных и офисных помещений такая величина собственных колебаний является допустимой, тем не менее она не подходит для тихих функциональных зон, в которых вибрации явно заметны и ощутимы.

Более целесообразен подход, основанный на оценке коэффициента динамичности по ускорениям, который учитывает амплитуду колебаний, выраженную через ускорение. Допустимая величина коэффициен-

та динамичности также приводится в национальных стандартах и в разных странах может быть различной. Более высокие коэффициенты динамичности указывают на увеличение зыбкости перекрытий, что становится более заметным для находящихся в здании людей. Коэффициент динамичности 8, вычисленный как отношение фактического ускорения перекрытия к нормируемому базовому значению 5 мм/с^2 , обычно является приемлемым для офисов. Однако в зданиях больниц и помещениях со специальными требованиями может быть необходимо уменьшить величину коэффициента динамичности до 1 или 2.

На практике коэффициенты динамичности уменьшаются (т. е. вибрации становятся менее заметными) с увеличением массы элемента. Большепролетные балки обычно имеют меньше проблем с динамикой, чем балки с меньшим пролетом, что само по себе противоречит подходу, основанному только на частоте собственных колебаний.

Значительную роль играет также план расположения балок, поскольку боль-

шая длина второстепенных многопролетных балок в композитных сталежелезобетонных перекрытиях приводит к более низким коэффициентам динамичности благодаря большей массе балок, участвующей в колебаниях. На рисунке 6.1 показаны две возможные схемы расположения балок. Коэффициент динамичности для схемы (б) будет ниже (вибрации менее заметны для людей), чем для схемы (а), поскольку масса, участвующая в колебаниях, больше в схеме (б).

Коэффициент динамичности незагруженных перекрытий на этапе строительства, скорее всего, будет выше, чем тех же самых перекрытий в стадии эксплуатации с приложенными постоянными и временными нагрузками.

На веб-сайте HIVOSS [9] (Human Induced Vibrations On Steel Structures) можно получить более детальную информацию, касающуюся вибраций стальных конструкций, вызванных деятельностью людей (Руководства по проектированию в соответствии с Еврокодом представлены на европейских языках. – Прим. перев.)

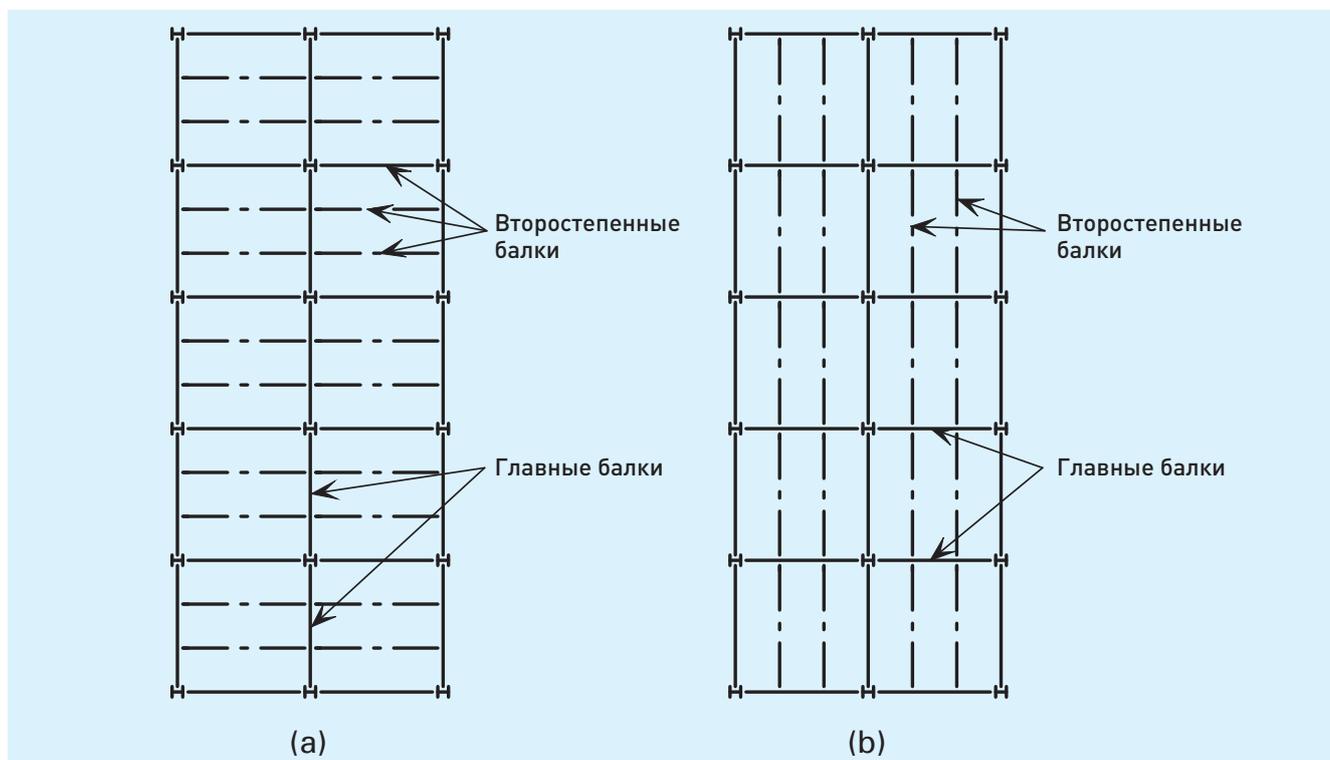


Рисунок 6.1. Варианты схем расположения балок

6.3. Защита от коррозии

Коррозия стали представляет собой электрохимический процесс, который происходит под воздействием воды и кислорода. При отсутствии одного из этих компонентов коррозия не происходит. Поэтому, незащищенная сталь в условиях сухой окружающей среды (т. е. внутри здания) будет подвергаться коррозии очень незначительно. Главными факторами, определяющими скорость коррозии стали на открытом воздухе, являются: доля общего времени, в течение которого поверхность остается влажной вследствие дождя, конденсата и т. д.; тип и количество примесей в атмосфере (например, сульфаты, хлориды и т. д.).

Стальные конструкции, расположенные снаружи здания, требуют антикоррозионной защиты. Значительное влияние оказывают местные условия окружающей среды, широкая классификация которых представлена в EN ISO 12944-2. В данной классификации определяются категории от C1 (отапливаемые помещения) до C5 (агрессивная среда морских и промышленных районов). Существует множество систем антикоррозионной защиты, включая металлические покрытия (такие, как оцинковка) и системы окрашивания. Выбор подходящей системы антикоррозионной защиты зависит от категории окружающей среды.

Иногда местные нормативы требуют, чтобы стальные конструкции имели защиту от коррозии, даже если они обетонированы или расположены внутри помещений. Но обычно стальные конструкции, защищенные от воздействий окружающей среды внутри сухих отапливаемых зданий, не нуждаются в антикоррозионной защите.

6.4. Температурные воздействия

Теоретически сталь увеличивается и уменьшается в объеме с изменением температуры. Однако благодаря защите от непосредственного воздействия окружающей среды изменение температуры элементов стального каркаса является незначительным по сравнению с колебаниями температуры наружного воздуха.

Рекомендуется по возможности избегать устройства температурно-усадочных швов, поскольку это дорого, а также значительно усложняет детализацию узлов наружных ограждающих

конструкций, которые должны обеспечивать надежную защиту от погодных условий и любых других воздействий окружающей среды. Альтернативой устройству температурно-усадочных швов может быть выполнение расчета каркаса здания на температурные воздействия, расчетные параметры которых могут быть определены на основе EN 1991-0-5, а расчетные сочетания приняты в соответствии с EN 1990. В большинстве случаев такой расчет позволяет доказать конструктивную адекватность несущих элементов стального каркаса без устройства температурных швов.

По опыту проектирования многоэтажных зданий в Северной Европе при отсутствии соответствующих расчетов устройство температурно-усадочных швов является оправданным, если длина здания превышает 100 м для шарнирно-связевого несущего каркаса и 50 м для рамного каркаса с жесткими узлами. В соответствии с общепринятой практикой проектирования в более теплых климатических условиях, здания без температурно-усадочных швов могут иметь длину около 80 м. Эти рекомендации применимы к зданиям со стальным каркасом — устройство температурных швов является необходимым также в жестких фасадных конструкциях, таких как кирпичная кладка. В многоэтажных зданиях при устройстве температурно-усадочных швов места их расположения обычно совпадают со значительным изменением формы здания в плане или резкими перепадами высотных отметок перекрытий. Иногда температурными швами разделяют отдельные блоки несущего каркаса, опирающиеся на разные фундаменты.

6.5. Пожаробезопасность

При разработке архитектурно-строительных решений проектировщики должны принимать во внимание влияние вопросов огнестойкости и пожаробезопасности, а именно:

- Количество и расположение эвакуационных выходов
- Размеры пожарных отсеков
- Обеспечение доступа в здание пожарных бригад и средства пожаротушения
- Меры по ограничению распространения пожара
- Дымоудаление и эвакуация
- Использование спринклерных систем.

Обычно все эти вопросы учитываются архитектором на стадии эскизного проектирования.

В дополнение к вышеперечисленным вопросам поведение несущих конструкций в случае пожара должно отвечать определенным критериям, выраженным в форме требуемого предела огнестойкости отдельных несущих конструкций. В качестве альтернативы можно использовать комплексный инженерный подход, который рассматривает пожарную безопасность всего здания в целом с учетом его назначения, действующих на него опасных и вредных факторов, рисков возникновения пожара и его последствий, а также возможных способов решения всех этих вопросов в совокупности.

В общем случае конструктор и архитектор должны принимать во внимание:

- Варианты конструктивных схем с меньшим количеством балок, для которых требуется пожарозащита
- Возможность использования стальных элементов без противопожарной защиты
- Влияние встроенных инженерных коммуникаций на системы пожарозащиты, а также эффективные технические решения, такие как вспучивающиеся огнезащитные покрытия перфорированных балок
- Выполнение мероприятий по огнезащите стальных конструкций на строительной площадке, скорее всего, - повлияет на график производства строительно-монтажных работ, в особенности при напылении огнестойких составов на смонтированные металлоконструкции
- Выбор системы огнестойких покрытий с учетом эстетических требований к внешнему виду визуально открытых стальных конструкций.

Руководство по проектированию пожаробезопасности многоэтажных стальных зданий приводится в книге «Многоэтажные стальные здания. Часть 6. Пожаробезопасность» [10].

6.6. Акустические требования

Допустимые пределы остаточных шумов после звукопоглощения фасадными конструкциями здания обычно указываются в Национальных нормативах для открытых офисных пространств и конференц-залов. Для

данных помещений также нормируются аналогичные критерии в отношении шумов, вызванных работой инженерных систем здания.

Для внутренних пространств здания обычно регламентируется максимальная и минимальная величина допустимого уровня атмосферных шумов. Данные критерии обеспечивают комфортные условия пребывания как в офисных, так и в жилых зданиях.

Особое внимание следует уделять детализировке узлов строительных конструкций, поскольку от этого зависит достижение требуемых акустических показателей. На рисунке 6.2 настил покрытия пола полностью изолирован от сборной железобетонной плиты (настил изолирован от сборного элемента слоем специального упругого материала или гидроизоляционной мембраной в сочетании с жесткой минераловатной плитой). Кроме того,

подвесной потолок с минимальным собственным весом 8 кг/м^2 не имеет непосредственного контакта со стальной балкой. Детали примыкания стен к полу и потолку также требуют тщательной проработки. Пример типовой детали примыкания показан на рисунке 6.3. Плотный минераловатный материал заполняет пространство вокруг стальной балки, а швы между облицовкой стены и полом или потолком герметизированы.

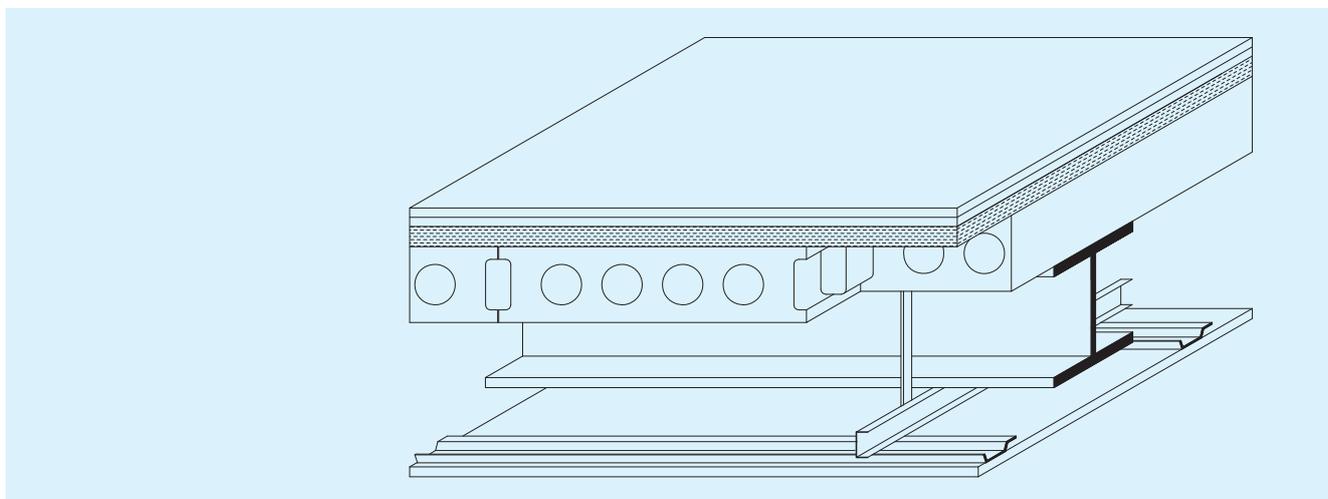


Рисунок 6.2. Типовая конструкция перекрытия, обеспечивающая улучшенные звукоизоляционные характеристики

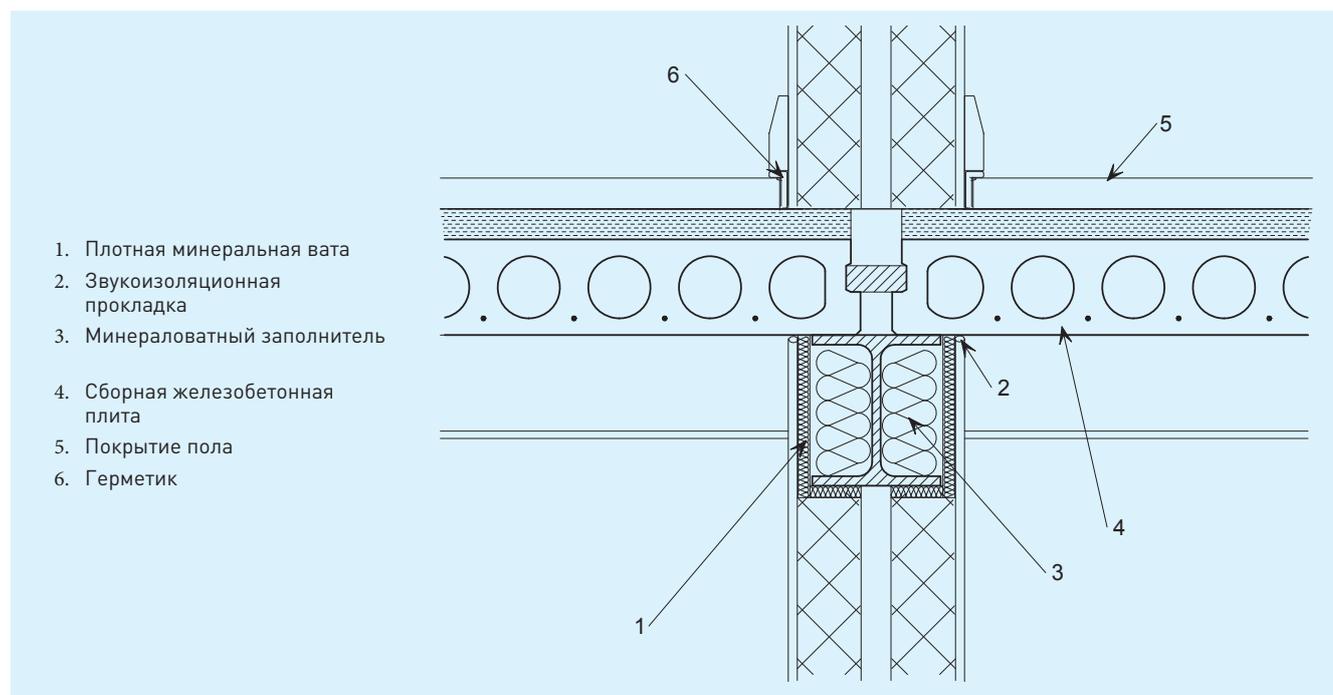


Рисунок 6.3. Типовая деталь примыкания внутренней перегородки к перекрытию

Разделительные стены и перегородки между помещениями различного назначения, как правило, представляют собой двухслойные конструкции, обеспечивающие уменьшение распространения шума, а также облегчающие устройство элементов связей в пределах толщины стены.

6.7. Энергоэффективность

Теплозащита, обеспечиваемая ограждающей оболочкой здания, традиционно находится в зоне ответственности архитектора. Однако, конструктор должен участвовать в разработке соответствующих деталей и схем расположения элементов фасадов. Опорные конструкции фасадов могут быть более сложными в силу необходимости обеспечения теплотехнических требований, что влечет за собой использование узлов крепления с эксцентриситетом к опорным металлоконструкциям. Стальные элементы, проходящие сквозь изоляцию, такие как опорные элементы балконов, требуют специальной проработки и детализовки, позволяющей избежать возникновения мостиков холода. Мостики холода не только приводят к теплотерям, но также вызывают образование конденсата внутри здания.

6.8. Фасады

Фасадные системы, используемые в многоэтажных зданиях, зависят от высоты здания и степени остекления. Широкое распространение получили фасады, полностью состоящие из светопрозрачных элементов остекления, хотя всегда необходимо предусмотреть мероприятия по солнцезащите. Пример здания с полностью остекленным фасадом показан на рисунке 6.4. Основными типами фасадных систем являются:

- Фасад из мелкоштучных материалов (кирпичная или каменная кладка, пеноблоки и т. д.)

В зданиях высотой до 3 этажей опирается на фундамент или грунтовое основание. В более высоких зданиях — на стальные уголки из нержавеющей стали, закрепленные к периметральной балке.

- Светопрозрачные фасады
Обычно тройные стеклопакеты или двойные панели остекления, которые опираются на алюминиевые стойки или специальные фасадные кронштейны.
- Легкие навесные фасады
Алюминиевые или другие легкие фасадные панели, которые навешиваются на стальные конструкции, расположенные по периметру здания.
- Плитка или штукатурка по утеплителю
Фасадные конструкции, в которых наружная облицовка крепится к каркасным стенам из тонкостенных стальных профилей. В основном используются в общественных и жилых зданиях.



Рисунок 6.4. Фасадная стена с тройными стеклопакетами многоэтажного общественного здания

6.8.1. Фасадные стены с облицовкой из кирпича

Кирпичная кладка обычно крепится к основному несущему каркасу здания через сплошные уголки, Т-образные кронштейны или отдельные кронштейны, которые часто выполняются из нержавеющей стали, что позволяет избежать необходимости нанесения какого-либо антикоррозийного покрытия. Как правило, кронштейны имеют некоторую возможность вертикальной регулировки обычно за счет двух спаренных пластин с засечками на соприкасающихся поверхностях. Рисунок 6.5 показывает типовые детали крепления к стальным балкам, в которых кронштейны крепятся к пластине, приваренной между полками балки.

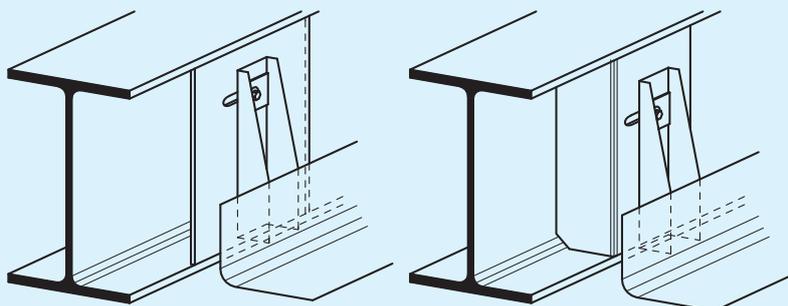


Рисунок 6.5. Типовая деталь крепления к стальным элементам

Рисунок 6.6 показывает типовые детали крепления к торцу бетонной плиты. Кронштейн может устанавливаться на верхнюю поверхность плиты либо крепиться к специальным закладным профилям, замоноличенным в торец плиты.

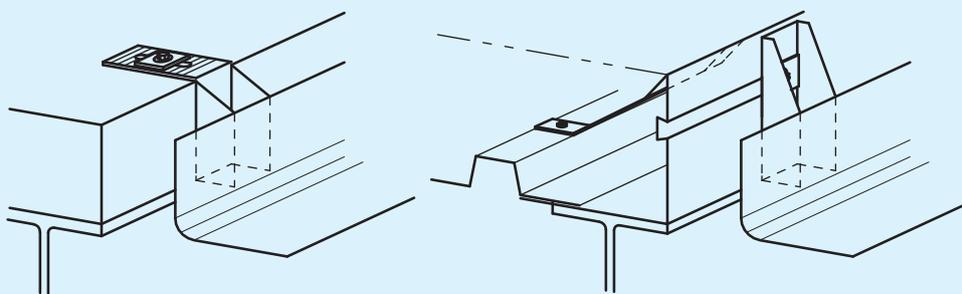


Рисунок 6.6. Типовые детали крепления к бетонной плите

6.8.2. Светопрозрачные фасады

Многие здания со стальным каркасом имеют остекленные фасады. Существует большое количество различных фасадных систем. При выборе подходящей системы необходимо проконсультироваться с производителями фасадных конструкций, в частности, по вопросу крепления фасадных панелей к несущим конструкциям каркаса здания. Во многих случаях детали крепления располагаются по углам панелей остекления, а сами панели имеют какую-либо уплотнительную прокладку в межпанельных швах.

Необходимо рассмотреть целый ряд важных вопросов. Особенно актуальным является вопрос регулировки креплений, поскольку в общем случае строительные допуски стального каркаса и панелей остекления отличаются. Перемещения, вызванные температурными воздействиями, могут быть значительными, что должно учитываться конструкцией опорных узлов фасадной системы.

6.8.3. Навесные фасады

Навесные фасады включают:

- Металлические панели (обычно стальные или алюминиевые)
- Сборные железобетонные панели
- Каменную облицовку.

Навесные фасады могут воспринимать собственный вес, а также внешние приложенные нагрузки без дополнительных опорных конструкций. Такой тип панелей обычно подвешивается за верхний край или опирается своим основанием в уровне перекрытия. Обычно каждая система панелей имеет специальные детали крепления, обеспечивающие возможность смещений и регулировки в трех плоскостях, что позволяет решить проблему разницы осадок и перемещений несущего стального каркаса и фасадных конструкций. Узлы крепления могут иметь весьма значительные размеры, что вызывает необходимость скрывать такие узлы в толщине фальшпола или подвесного потолка. Иногда требуется выполнить проверку несущей способности плиты перекрытия с учетом местных нагрузок, приложенных к плите в узлах крепления фасадных панелей. Достаточно часто крепежные элементы устанавливаются в торце перекрытия. В таких случаях можно использовать специальные закладные детали заводского изготовления, замоноличенные в торец перекрытия.

Для установки фасадов может быть необходимо устройство дополнительных опорных конструкций, обычно в виде стоек, которые устанавливаются вертикально на несколько этажей, иногда с промежуточными горизонтальными элементами (ригелями). Таким образом часто крепятся вертикальные или горизонтальные панели облицовки. Узлы креплений нуждаются в тщательной проработке с тем, чтобы обеспечить возможность регулировки в трех плоскостях, возможность перемещений, и в то же время обеспечить передачу боковых нагрузок на перекрытия.

6.8.4. Фасады с облицовочной плиткой или штукатуркой по утеплителю

Фасадные системы с внутренним утеплителем и облицовкой представляют собой легкие, энергоэффективные ограждающие конструкции многоэтажных зданий, в которых изоляционные материалы и облицовка крепятся к легкому стальному каркасу, как показано на рисунке 6.7. При условии качественной детализации и установки этот тип фасадов является быстрым, надежным и энергоэффективным решением. Вместо полимерной штукатурки можно использовать отделочную плитку в виде отдельных элементов или готовых панелей. Аналогично в качестве наружной облицовки может выступать кирпичная кладка, как показано на рисунке 6.8.

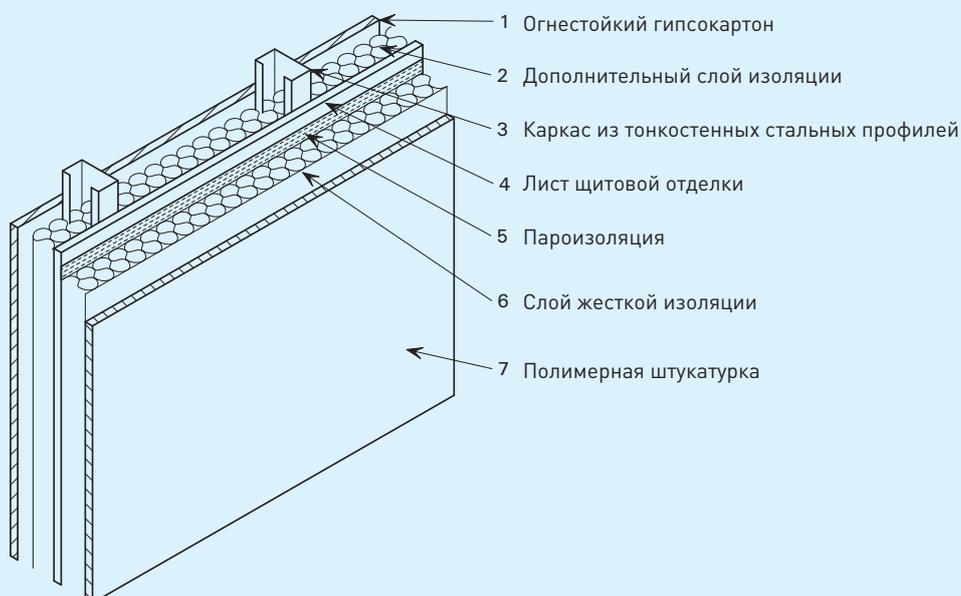


Рисунок 6.7. Типовая фасадная конструкция со штукатуркой по утеплителю на легком стальном каркасе

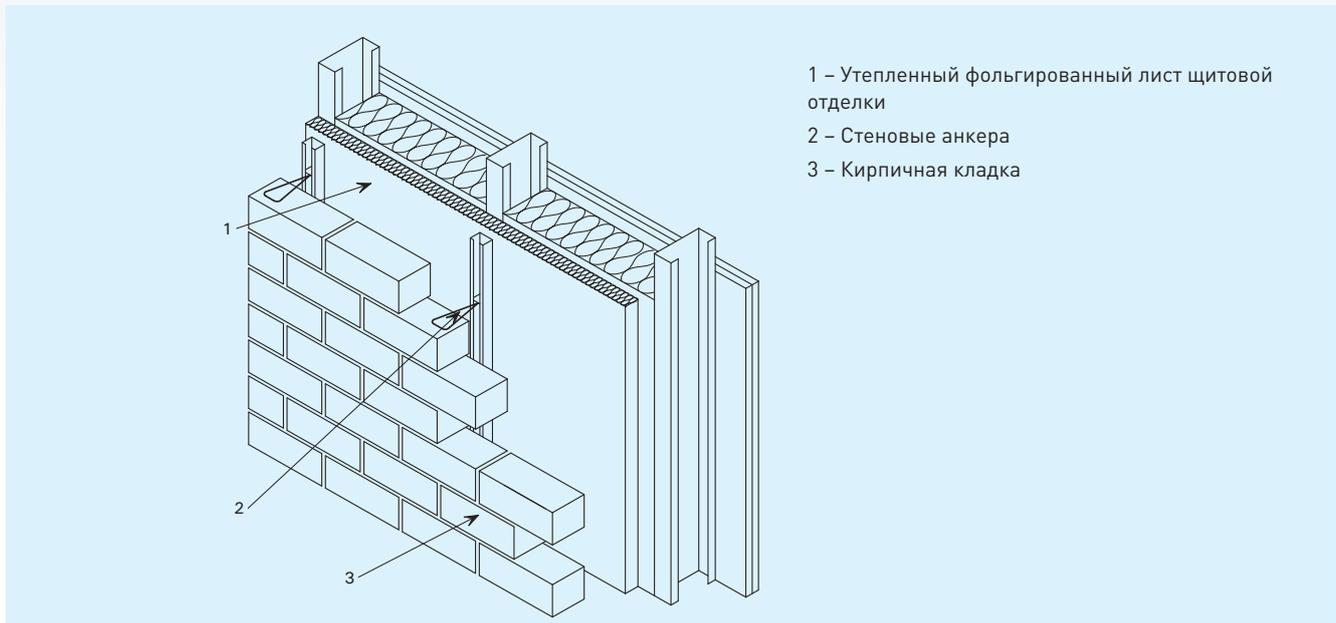


Рисунок 6.8. Фасадная стена с кирпичной кладкой

Литература

1. Сравнительный анализ стоимости основного несущего каркаса современных многофункциональных офисных зданий. (Hicks S.J., Lawson R. M., Rackham J.W. and Fordham P. Comparative structure cost of modern commercial buildings (second edition). The Steel Construction Institute, 2004)
2. Стальные здания в Европе. Многоэтажные стальные здания. Часть 3. Нагрузки
3. Анализ жизненного цикла в стальном строительстве. (Sansom, M. and Meijer, J. Life-cycle assessment (LCA) for steel construction. European commission, 2002).
4. Используется несколько методов анализа. Например:
 - BREEAM (Великобритания)
 - HQE (Франция)
 - DGNB (Германия)
 - BREEM-NL, Greencalc+ и BPR Gebouw (Нидерланды)
 - Valideo (Бельгия)
 - Casa Clima (Трентино-Альто-Адидже, Италия. В каждом регионе существует собственный подход)
 - LEED (используется в разных странах).
5. Роль стали в экологически безопасных зданиях. (Gorg Olewski, M. The role of steel in environmentally responsible buildings. The Steel Construction Institute, 1999).
6. Стальные здания в Европе. Многоэтажные стальные здания. Часть 4. Рабочее проектирование металлоконструкций.
7. Временное руководство по использованию вспучивающихся покрытий для пожарозащиты стальных балок. (Simms W.I. RT983: Interim guidance on the use of intumescent coatings for the fire protection of beams. The Steel Construction Institute, 2004).
8. Стальные здания в Европе. Многоэтажные стальные здания. Часть 5. Проектирование узлов и соединений металлоконструкций.
9. <http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/download.php>
10. Стальные здания в Европе. Многоэтажные стальные здания. Часть 6. Пожарозащита стальных конструкций.

СТАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В ЕВРОПЕ

Многоэтажные стальные здания

ЧАСТЬ 2. ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Перевод с английского

Подписано в печать 11.07.2017. Формат: 50x70/4. Усл. печ. л. 21,5. Тираж 2000 экз. Заказ 0710/2.
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 978-5-9907551-7-8



9 785990 755178



Ассоциация развития
стального строительства



АССОЦИАЦИЯ РАЗВИТИЯ
СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

+7 (495) 744-02-63

info@steel-development.ru

www.steel-development.ru