

## **КОНСТРУКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ**

### **Введение**

Основным требованием, предъявляемым к любому типу стальных зданий, является конструктивная безопасность, т.е. способность здания выдерживать вертикальные (связанные с действием силы тяжести) и боковые (при ветре и землетрясениях) нагрузки. Если при проектировании и постройке здания не учтены все необходимые технические факторы и требования, со временем в нем могут возникнуть прогибы несущих элементов и повреждения конструкции, и даже произойти обрушение, что приведет к жертвам, травмам и финансовым потерям. Именно поэтому так важно правильно оценивать соответствующие конструктивные риски и учитывать их при разработке конструктивных решений.

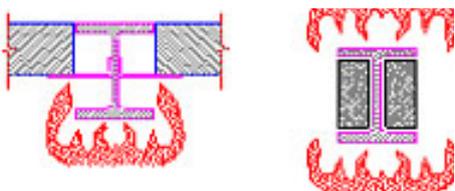
Очевидно, что разрушение конструкции не происходит само по себе. Существует ряд причин, которые могут стать его причиной: землетрясения, пожары, избыточная нагрузка, сильный ветер и т.д. Однако возможно проектирование зданий, способных противостоять таким нагрузкам и последующему разрушению. Такое проектирование учитывает действующие и прогнозируемые нагрузки на здание, свойства материалов, приемлемый уровень безопасности и указания строительных норм и стандартов.

### **ВАЖНЕЙШИЕ ЗАДАЧИ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Конструктивная безопасность стальных зданий может быть поставлена под угрозу из-за конструктивных недостатков, возникающих на стадии проектирования или строительства зданий. Поэтому для постройки безопасных и надежных зданий из стали очень важно учитывать следующие конструктивные аспекты:

#### **1 Пожарная безопасность**

Принятие своевременных эффективных мер по предотвращению пожара значительно снижает риск возгорания, обеспечивает защиту людей и имущества. Хорошо известно, что свойства любых строительных материалов теряют свои первичные характеристики при длительном воздействии высоких температур.



*Рисунок 1.1-Воздействие огня на профильные сечения*

Стальные элементы конструкции также могут деформироваться в случае сильного перегрева: их конструктивная прочность уменьшается в два раза при температурах около 600°C. Защиту стальных элементов могут обеспечить теплоизоляционные материалы, которые позволяют стали сохранять способность противостоять обрушению и препятствует проникновению пламени сквозь разделительные стены, плиты перекрытий и потолки.

Функция любых типов противопожарных систем состоит в том, чтобы максимально отсрочить воздействие огня на элементы конструкции и уменьшить силы воздействия жара и пламени. Правильно спроектированная система противопожарной защиты должна обеспечить достаточный период защиты, чтобы находящиеся в здании люди могли вовремя покинуть его, а пожарные расчеты могли справиться с огнем. Тип и толщина тепловой изоляции зависят от требуемого периода огнестойкости и приведенной толщины стали, которую можно выразить как отношение площади поперечного сечения к периметру обогреваемой поверхности. Толщина слоя теплоизоляции должна быть подобрана так, чтобы температура элемента не превысила предельное значение в течение требуемого периода огнестойкости.

Период огнестойкости стальных зданий варьирует в диапазоне ½, 1, 2 или 4 часа. В различных странах, в зависимости от применяемых норм, типа здания и возможных последствий разрушения конструкции цифры могут изменяться. В целом, системы противопожарной защиты стальных зданий, в зависимости от их назначения могут быть основаны как на активных, так и на пассивных методах защиты. В настоящее время на рынке представлено большое разнообразие противопожарных систем. К активным системам относятся разбрызгиватели воды (спринклеры) и заполненные водой конструктивные элементы системы. К пассивным системам относятся интегрированные элементы конструкции, теплоизоляционные плиты, напыленные покрытия, вспучивающиеся покрытия, подвесные потолки, защитные слои бетона и комбинированные элементы.

## **1.1 Введение в концепцию пожарной безопасности**

### **1.1.1 Процесс развития пожара**

Огонь представляет собой химический процесс. В зависимости от горючего материала, огонь может быть углеводородным и целлюлозным. Целлюлозный огонь возникает там, где есть целлюлозные составляющие: напольные покрытия, мебель и облицовка стен. Углеводородный огонь вызван возгоранием нефти и нефтепродуктов, которые при горении дают высокие температуры. При воздействии огня на стальные элементы здания, увеличение температуры на поверхности стального профиля зависит от тепловой инерции, площади нагреваемой поверхности и защитного покрытия. По мере возрастания скорости и величины теплового потока, температура, а с ней и риск разрушения стального элемента, также возрастает. Поскольку сталь обладает очень высокой теплопроводностью, открытая поверхность элемента за небольшое время легко передает тепловой поток от источника огня по всей конструкции здания. Также

хорошо известно, что тепло переносится между элементами с разной температурой и представляет собой форму термической энергии, передаваемой через поверхность материала, от сред с высокой температурой в среды с низкой температурой, за счет теплопроводности, излучения или конвекции.

### **1.1.2 Сила пожара и горючие материалы**

Сила возможного пожара, зависит от нескольких связанных факторов, а именно, от пожарной нагрузки (показателя, учитывающего наличие горючих материалов, площадь ограниченного внутреннего пространства, вероятность возникновения пожара и меры противопожарной защиты), количества высвобождаемого тепла, размеров здания, особенности вентиляции и количество окон и дверей. Еще один важный фактор, определяющий скорость развития пожара - тип имеющихся в здании горючих материалов. Именно из-за этого фактора ожидаемая скорость распространения огня в супермаркете и библиотеке выше, чем в жилом доме или офисном здании. Риск обрушения конструкции остается достаточно низким до тех пор, пока пожар не переходит из начальной стадии возгорания в объемную (такой переход называют общей вспышкой).

### **1.1.3 Задачи пожарной безопасности**

Даже если материал как, например, конструкционная сталь, считается негорючим, это не гарантирует пожарную безопасность конструкции. Когда под воздействием высоких температур сталь поглощает тепло, ее структурные качества и предел текучести заметно снижаются. Основная цель обеспечения пожарной безопасности зданий – защита жизни людей и имущества благодаря принятию эффективных мер в процессе проектирования и строительства. Хотя полностью исключить вероятность повреждения здания при пожаре невозможно, некоторые конструктивные решения позволяют свести риск к приемлемому минимальному уровню.

При проектировании здания с заданным уровнем пожарной безопасности необходимо учитывать все факторы, в том числе предполагаемый тип здания, его площадь и высоту, расположение пожарных выходов, количество людей в здании, количество и тип имеющихся в здании горючих материалов (т.е. возможную пожарную нагрузку). Также очень важно учесть распространение огня между смежными зданиями или частями зданий, которые могут иметь различное назначение. Как уже говорилось, стальные конструктивные элементы здания должны обладать огнестойкостью, исключающей потерю несущей способности в течение определенного периода времени, определяемого соответствующими нормами пожарной безопасности. Это дает находящимся в здании людям возможность покинуть его, а пожарным расчетам – справиться с пожаром. Период огнестойкости определяется в соответствии с национальными нормами пожарной безопасности.

С другой стороны, следует учитывать, что стальные элементы конструкции могут легко разрушаться при пожаре, если рост температуры достигает критических значений. Огнестойчивость стального элемента связана с некоторыми важными факторами, в том числе с размером поперечного сечения,

периметром профиля, открытого воздействию огня, расположением элемента в защитной конструкции и толщиной стали. В зависимости от места возникновения пожара и части конструкции, даже открытая сталь может противостоять огню до 30 минут. Однако для того, чтобы сохранять свои качества и несущую способность в течение более продолжительного времени, конструкционная сталь должна быть защищена от огня соответствующим теплоизоляционным материалом и технологиями. По существу, конструктивная пожарная безопасность измеряется по времени, в течение которого конструкция сопротивляется огню, с учетом времени, необходимого для эвакуации и масштаба разрушений. Также важно, чтобы предельное время огнестойкости было достаточным для того, чтобы конструкция выдержала нагрузку на здание в течение всего пожара.

#### **1.1.4 Борьба с распространением пожара**

Сила и продолжительность огня, зависящие от температуры газов, выделяющихся в помещении, где происходит пожар, в большой степени связаны с количеством горючих материалов, условиями вентиляции и термическими свойствами элементов конструкции. Для того, чтобы уменьшить повреждения конструкции, необходимо не допустить перехода локального возгорания в объемную стадию горения, с которым сложно справиться. Именно поэтому так важно обеспечить в месте пожара хорошую вентиляцию, выводящую выделяющиеся при горении тепло и газы. Эффективные инженерные решения также не позволяют огню распространиться на другие помещения. Для этого могут использоваться огнеупорные перегородки, которые также обеспечивают защиту стальных элементов конструкции от огня. Большую пользу приносят также системы обнаружения пожара, позволяющие выиграть время, необходимое для успешной борьбы огнем. Кроме того, в здании должны быть огнетушители и водопроводная система, достаточно мощная для борьбы с огнем.

#### **1.1.5 Огнестойкость строительных материалов и пределы огнестойкости**

При проектировании всей конструкции в соответствии с требованиями пожарной безопасности, важно учитывать пределы огнестойкости каждого отдельного элемента. Поэтому при использовании огнезащитных материалов в проектах с применением стальных конструкций необходимо удостовериться в наличии сертификата, в котором указаны соответствующие пределы огнестойкости данных материалов. Иногда на местном рынке поставок сложно найти огнеупорный материал, отвечающий требованиям по пределу огнестойкости. В таких случаях, разработчик проекта может использовать дополнительные слои теплоизоляции, которые позволят получить необходимые проектные значения.

#### **1.1.6 Поведение стальных конструкций при пожаре**

Как уже говорилось, прочность и жесткость стали, как и других строительных материалов, снижается при высоких температурах. Хотя предел текучести стали в конструкторских расчетах обычно принимается равным нулю при температуре 1200°C, в реальности предел текучести не достигает нуля, пока сталь не разогреется до температуры плавления, равной 1550°C. Во время пожара

температура стали практически никогда не достигает критического уровня – температуры плавления. Хотя сталь и является негорючим материалом, она обладает очень высокой теплопроводностью, что негативно сказывается на прочностных характеристиках здания при контакте с огнем. Поэтому при проектировании зданий из стали так важно производить расчеты противопожарной безопасности

## 1.2 Существующие методы противопожарной защиты

### 1.2.1 Здания с легкими стальными каркасами

В зданиях с легким стальным каркасом противопожарная безопасность может поддерживаться за счет интегрированных элементов конструкции, теплоизоляционных панелей или системы подвесных потолков.

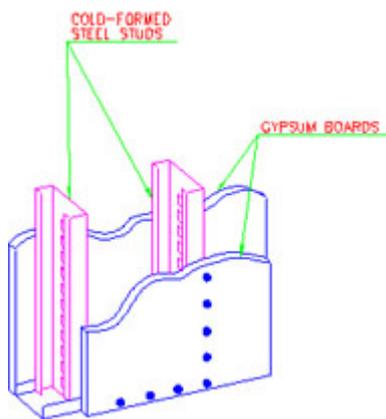


Рисунок 1.2. Интегрированные стальные элементы конструкции

#### 1.2.1.1 Интегрированные стальные элементы конструкции

Противопожарная защита легких стальных каркасов облегчается тем, что несущие стойки обычно расположены внутри стены или перекрытия, такая структура в значительной степени защищает стальную конструкцию от огня. Реальные преимущества дает использование стеновых (например, гипсокартонных), или потолочных плит, которые в зависимости от пределов огнестойкости и толщины облицовочных материалов, обеспечивают защиту опорных балок и стоек от пожара продолжительностью до двух часов.

##### 1.2.1.1.1 Теплоизоляционные стеновые панели

Требуемый уровень противопожарной защиты стальных элементов конструкции может быть обеспечен за счет таких теплоизоляционных материалов, как гипсовые плиты, минерально-волокнистые плиты или покрытия, выполненные из легких смесей, например перлита и силикатных волокон

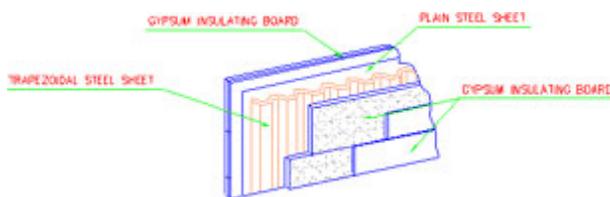
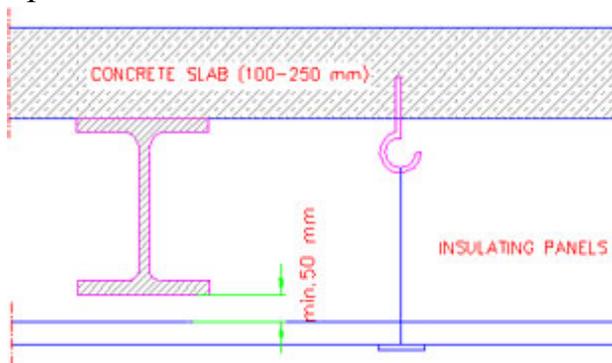


Рисунок 1.3-Теплоизолированные стеновые панели

### 1.2.1.1.2 Подвесные потолки

Подвесные потолки могут использоваться как огнестойкая изоляция, защищающая нижнюю поверхность балок перекрытия. Значения их пределов огнестойкости должны быть определены до начала проектирования и строительства. Для заполнения пустот в элементах полов и перекрытий могут применяться теплоизоляционные материалы, обладающие достаточной



огнестойкостью, например минеральная или каменная вата. Подвесные потолки можно также использовать для маскировки инженерных коммуникаций здания.

Рисунок 1.4 - Подвесные потолки

## 1.2.2 Здания с каркасом из горячекатаной стали

Способы противопожарной защиты зданий с каркасом из горячекатаной стали можно в целом разделить на пассивные и активные системы безопасности.

### 1.2.1.1 Активные способы защиты от пожара

В качестве способов активной противопожарной защиты могут использоваться заполненные водой полые элементы конструкции и разбрызгиватели воды.

## 1.3 Расчеты и проектирование противопожарных систем

### 1.3.1 Проектирование стальных элементов, подверженных воздействию открытого огня

Несущие элементы стального здания должны соответствовать основным требованиям огнестойкости, предъявляемым к современным строительным материалам и уровню пожарной защиты всего здания.

Каждому строительному изделию присваивается определенный класс пожарной безопасности, который соответствует предельному времени, в течение которого изделие может безопасно выдерживать конструктивную нагрузку при пожаре. Разработчик проекта должен учитывать пределы огнестойкости каждого материала, применяемого в конструкции.

### 1.3.2 Проектирование узлов стальных конструкций, подверженных воздействию открытого огня

В соответствии с нормами пожарной безопасности, элементы конструкции должны обладать достаточной огнестойкостью. Существуют два подхода к проектированию пожаробезопасных зданий: нормативный и подход, основанный на реальных эксплуатационных характеристиках. При нормативном подходе

пожаробезопасность проекта определяют следующие факторы: материалы, используемые при строительстве, формы элементов конструкции, состав и толщина защитных систем, детали сборки элементов и т.д. Однако в случае осуществления некоторых архитектурных решений, этот подход имеет ряд ограничений. Подход, основанный на эксплуатационных характеристиках, эффективно применяется при вероятности боковых нагрузок на здание во время сильного ветра или землетрясения. В рамках данного подхода элементы конструкции подвергают сильному нагреву, для того чтобы определить способность конструкции выдерживать нагрузку при пожаре. Невозможно отделить подверженный воздействию огня и поэтому чрезмерно нагретый элемент от остальных частей здания, с которыми он взаимосвязан. Поэтому важно правильно оценить огнестойкость конструкции здания в целом. При противопожарном проектировании зданий с применением стали проводятся испытания на огнестойкость, рассчитываются тепловые имитационные модели, применяется метод определения критической температуры, модели с приближенными расчетами и проектировочные таблицы. Стандартные методики испытания на огнестойкость проводятся на узлах конструкции, загруженных в соответствии с требуемыми проектными нагрузками. Согласно наблюдениям, критическая температура может оставлять от 450 до 650°C. При противопожарных расчетах конструкции применяется различное программное обеспечение, использующее тепловое и физическое имитационное моделирование, при котором рассматриваются различные виды разрушений при различных сценариях пожаров.

#### **1.4 Вопросы и ответы**

##### **1. Какое место занимает концепция обеспечения пожарной безопасности в проектировании стальных зданий?**

Концепция пожарной безопасности должна быть неотъемлемой частью проекта здания, в котором используются стальные конструкции. Ее следует учитывать в течение всего процесса проектирования и строительства. Проект должен соответствовать требованиям нормативов о пределах конструктивной безопасности здания при пожаре

##### **2. В чем состоит основная задача пожаробезопасного проектирования зданий? создания**

Основная задача обеспечения пожарной безопасности здания состоит в снижении риска как для жизни людей, так и для имущества, благодаря принятию эффективных мер в процессе проектирования и строительства. Хотя полностью исключить вероятность повреждения здания при пожаре невозможно, соответствующие конструктивные особенности позволяют свести риск к приемлемому минимуму.

##### **3. Какие связанные с пожарной безопасностью вопросы необходимо учитывать при проектировании стальных зданий?**

При проектировании здания из стали необходимо учитывать:

- Сценарий развития пожара и распространения огня в здании
- о Вероятное количество людей в здании и их безопасную эвакуацию при пожаре
- Наличие пожарной сигнализацию и порядок эвакуации людей.
- Условия вентиляции здания при пожаре
- Влияние пожара на конструктивные свойства строительных материалов
- Требования соответствующих пожарных нормативов в отношении проекта здания

#### **4. Какие способы защиты от огня можно использовать при проектировании пожаробезопасного здания?**

Существует два типа систем защиты от огня: активные и пассивные. К активным системам относятся разбрызгиватели воды и заполненные водой конструктивные элементы системы. К пассивным системам относятся интегрированные конструктивные элементы, теплоизоляционные плиты, напыленные покрытия, вспучивающиеся покрытия, подвесные потолки, защитные слои бетона и комбинированные элементы.

#### **5. Что происходит с конструкционной сталью при воздействии огня?**

При высоких температурах прочность и жесткость стали, как и других строительных материалов, снижается. Хотя сталь и является негорючим материалом, она обладает очень высокой теплопроводностью, что негативно сказывается на прочностных характеристиках здания при контакте с огнем. Конструктивная прочность стали уменьшается наполовину при температуре 600°C.

#### **1.5 Ссылки по теме и нормативы пожарной безопасности**

- EN 1993-1-2 Eurocode 3 – Проектирование стальных конструкций-Противопожарное проектирование конструкций.
- EN 1994-1-2 Проектирование комбинированных конструкций-Противопожарное проектирование конструкций.
- worldsteel Publication, “International Fire Engineering Design for Steel Structures”, 1993
- ECCS Publication, "Calculation of the Fire Resistance of Centrally Loaded Composite Steel-Concrete Columns Exposed to the Standard Fire", Publication 55, 1988.
- ECCS Publication, “Calculation of the Fire Resistance of Composite Concrete Slabs with Profiled Steel Sheet Exposed to the Standard Fire”, 1984.

*По материалам сайта  
<http://www.livingsteel.ru>*