

## Изменение несущей способности стальных конструкций при пожаре

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.2.76

© Технологии гражданской безопасности, 2023

**А.Н. Ротару, А.С. Маклаков**

### Аннотация

Авторами рассматриваются вопросы повышения огнестойкости зданий и сооружений, выполненных на базе стальных строительных конструкций, при пожаре.

Статья содержит выводы и рекомендации авторов по повышению огнестойкости стальных конструкций за счет использования огнезащиты от пожаров.

**Ключевые слова:** стальные конструкции; пожар; потеря прочности; чрезвычайная ситуация; МЧС России; статическая задача; температуропроводность; нагрузка; высокая температура.

## Changing the Bearing Capacity of Steel Structures in Case of Fire

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.2.76

© Civil Security Technology, 2023

**А.Н. Ротару, А.С. Маклаков**

### Abstract

The authors consider the issues of increasing the fire resistance of buildings and structures made on the basis of steel building structures in case of fire.

The article contains conclusions and recommendations on improving the fire resistance of steel structures through the use of fire protection.

**Key words:** steel structures; fire; loss of strength; emergency; EMERCOM of Russia; static problem; thermal conductivity; load; high temperature.

20.03.2023

В современной строительной отрасли применяются различные типы строительных конструкций, в том числе стальные. При чрезвычайных ситуациях часто возникают пожары, которые представляют большую опасность для зданий и сооружений. Особое внимание следует уделять огнестойкости зданий и сооружений, которые должны сохранять свою структурную целостность и функциональное назначение при воздействии опасных факторов пожара [1]. Кроме того, необходимо учитывать предельно допустимые значения параметров стальных конструкций с учетом времени воздействия на них высоких температур при пожаре до превращения стальных конструкций в пластическую форму, что может привести к их обрушению.

Конструкции из стали имеют высокую прочность, надежность и считаются устойчивыми к высокой температуре, но выдерживать высокие температуры и сохранять свою несущую способность могут недолго, после чего приобретают пластичную форму. Это связано с быстрым снижением прочностных и деформационных характеристик металла при высоких температурах.

При этом следует учитывать параметры пожара, приводящие к нагреву конструкций и способы их защиты, влияющие на мощность нагрева стальных конструкций. При кратковременном воздействии температуры во время пожара сталь нагревается медленнее и менее интенсивно, чем окружающая среда. В процессе пожара температура окружающей среды не перестает повышаться, а тепловая инерция металла, которая имеет некоторую задержку в нагреве, присутствует только в течение первых несколько минут. После этого температура стали достигает температуры окружающей среды. На структуру стальных конструкций влияет и время воздействия высоких температур, при которых структура металла становится пластичной и теряет свою целостность.

На рис. 1 и 2 показаны поврежденные стальные конструкции после непродолжительного и продолжительного пожара.

Предел нагрева стальных конструкций при пожаре зависит от размера их элементов и величины поверхности нагрева. По мере увеличения объема металла и уменьшения поверхности нагрева интенсивность повышения температуры элемента снижается. Потеря прочности и устойчивости металлических конструкций начинается с уменьшения предела огнестойкости самих конструкций. В таком случае необходимо выявить критическую точку нагрева металла с помощью статических и теплотехнических методов.

Диагностирование несущей способности конструкций с учетом изменения свойств металла в точке предельного состояния при пожаре возможно с использованием статического метода. С помощью этого метода рассчитывается изменение несущей способности (прочности) нагретой стальной конструкции с учетом изменения ее свойств при высоких температурах — общая расчетная схема. Далее формируется график изменения несущей способности стальных конструкций во времени. Время, необходимое для нагрева конструкции, после которого несущая способность конструкции снижается до величины нормативной нагрузки, является её пределом огнестойкости.



Рис. 1. Поврежденные стальные конструкции здания после непродолжительного пожара



Рис. 2. Поврежденные стальные конструкции здания после продолжительного пожара

С помощью теплотехнической задачи можно определять время нагрева стали от начала пожара до достижения критической температуры в расчетном сечении и фиксировать фактический предел огнестойкости конструкции [1].

По установленным в 123-ФЗ требованиям определяют несколько степеней и пределов огнестойкости конструкций зданий, а именно:

I степень огнестойкости зданий — предел огнестойкости стальных конструкций R120–R30;

II степень — предел огнестойкости стальных конструкций R90–R15;

III степень — предел огнестойкости стальных конструкций R45–R15;

IV степень — предел огнестойкости стальных конструкций R15–R15.

Кроме того следует учитывать, что для определения показателя сопротивляемости конструкции огню: (R15–R15) — для стальных конструкций; (R6–R8) — для алюминиевых конструкций.

Проблема незащищенных конструкций, быстро исчерпывающих свою способность противостоять огню, состоит в высоких значениях температуроводности материала —  $a$  ( $\text{м}^2/\text{час}$ ); связана с теплопроводностью —  $\lambda$ , и малыми значениями теплоемкости —  $C_m$ , что, соответственно, ведет к высоким значениям коэффициента температуропроводности:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (1)$$

где:

$a$  — температуропроводность металла, характеризует скорость изменения температуры в нестационарных процессах теплопроводности,  $\text{м}^2/\text{час}$ ;

$\lambda$  — теплопроводность металла, Вт/(м·К);  
 $c$  — теплоемкость, калория/кг·°С;  
 $\rho$  — плотность металла.

Высокий коэффициент теплопроводности металла практически не влияет на градиент температуры в поперечном сечении стальной конструкции.

При высокой температуре металлические конструкции быстро достигают критических температур; далее снижается устойчивость материала настолько, что конструкция не может выдерживать приложенную к ней внешнюю нагрузку, что приводит к потере несущей способности —  $R$ .

Определения критической температуры —  $T_{cr}$  прогрева металлических конструкций при нормативной эксплуатационной нагрузке показаны в таблице.

Таблица  
**Определения критической температуры конструкции**

Материал конструкции	$T_{cr}$ , °С
Сталь углеродистая Ст3, Ст5	470
Низколегированная сталь марки 25Г2С	550
Низколегированная сталь марки 30ХГ2С	500

Чтобы повысить огнестойкость конструкций, необходимо использовать различные методы, а также обеспечить предел огнестойкости металлических конструкций выше R15.

Достоверные пределы огнестойкости по потере прочности — ( $R$ ) различных несущих металлических конструкций оцениваются по приведенной толщине стали поперечного сечения конструкции ( $t_{red}$ ), определяемой по формуле:

$$t_{red} = \frac{A}{U}, \quad (2)$$

где:

$A$  — площадь поперечного сечения конструкции, см<sup>2</sup>;

$U$  — обогреваемая часть периметра сечения конструкции, см.

Пределом работы стальных конструкций считается температура +400°С; при температурах выше +450–+475°С сталь теряет прочность и возможность нести соответствующие нагрузки, что во время пожара может привести к быстрому обрушению здания.

Для повышения предела огнестойкости металлических конструкций необходимо повышать огнезащиту. Для несущих стальных конструкций в этих целях используются влажный и сухой способы нанесения огнезащиты.

Влажный способ нанесения огнезащиты включает: вспучивающие краски и шпаклевки, обмазки, цементно-песчаную штукатурку. Сухой способ огнезащиты включает: плиты гипсовые, минераловатные плиты, подвесные потолки для горизонтальных конструкций. Огнезащита стальных конструкций блокирует поверхность защищаемой конструкции от воздействия

высоких температур, сохраняя ее в рабочем состоянии в течение необходимого срока.

Предел огнестойкости несущих металлических конструкций зависит от приведенной толщины металла, определяемой как отношение площади поперечного сечения в элементах в см<sup>2</sup> нагретой части его поперечного сечения (в см). Например, стальные балки, фермы с приведенной толщиной металла 0,3, 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6 имеют следующие пределы огнестойкости соответственно: 0,8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 мин.

На рис. 3 показаны изменения температуры стали при стандартном пожаре для различных значений приведенной толщины сечения металла, см.

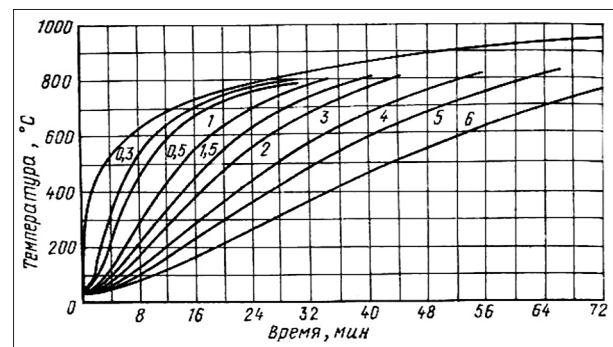


Рис. 3. Изменения температуры стали при пожаре для различных значений приведенной толщины сечения металла, см

Для двутаврового сечения (в форме буквы «Н») с облицовкой по контуру приведенная толщина полки:

$$\delta_{re} d = \delta_{sn} / 2, \quad (3)$$

где  $\delta_{re} d$  — толщина полки, мм.

Для стальной двутавровой балки приведенная толщина стали определяется как для стержня прямоугольного пустотелого сечения, в котором две стороны являются полками двутавра  $\delta_{re} d$ , а две другие стороны принимаются равными половине толщины стенки  $b_{re} d/2$ .

## Вывод

При высокой температуре стальные конструкции теряют свою форму, что влияет на состояние несущих конструкций во время пожаров, которое выражается в появлении недопустимых высоких деформаций и перемещений и может привести к разрушению металлоконструкций. Поэтому в современных условиях строительства необходимо для повышенной огнестойкости металлоконструкций применять современные способы защитных покрытий.

Огнестойкость стальных конструкций может быть повышена до необходимого уровня за счет использования огнезащиты. На практике используются способы защиты стальных конструкций от огня, такие как: облицовка негорючими строительными материалами, штукатурка, огнезащитная краска и инновационные материалы.

## Литература

1. Авгудевичс А. Х., Ротару А. Н. Воздействие высокой температуры металлических конструкций зданий и сооружений // В сб.: Пожарная и аварийная безопасность: Сб. материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, 10–11 ноября 2021 г. Иваново. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2021. С. 4–8;
2. Нигметов Г. М., Ротару А. Н., Савинов А. М., Нигметов Т. Г. Учет влияния армирования при оценке железобетонных конструкций методом ультразвукового неразрушающего контроля // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 3 (65). С. 29–32;
3. Киселев В. В. Оценка прочности и устойчивости наиболее нагруженного элемента конструкции страховочной стойки // NovalInfo. № 114. 2020. С. 4–5 // Сайт журнала "NovalInfo". URL: <https://novainfo.ru/article/17760> (дата обращения: 11.03.2023).
4. Киселев В. В. Последовательность проведения проверочного расчета элемента конструкции // NovalInfo. №113. 2020. С. 11–12 // Сайт журнала "NovalInfo". URL: <https://novainfo.ru/article/17692> (дата обращения: 11.03.2023).
5. Ботян С. С., Жамойдик С. М., Кудряшов В. А. и др. Оценка огнестойкости стальных строительных конструкций с учетом влияния теплообмена с примыкающими смежными конструкциями // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2021. Т. 5. № 3. С. 278–288.
6. Воросин А. О., Парфененко А. П. Исследование влияния прогрева от второстепенных стальных конструкций без огнезащиты на предел огнестойкости стальных балок в огнезащите // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30. № 3. с. 16–30;
7. Захаров Д. О., Овсянникова В. В. Обследование стальных конструкций // Студенческий вестник. 2020. № 3–4 (101). С. 93–94.
8. Крючков Г. И. Огнестойкость стальных конструкций при нормируемых температурных режимах пожара // Проблемы технической безопасности: Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 2021. № 10. С. 96–103.
9. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (последняя редакция) // Портал КонсультантПлюс. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 11.03.2023).
10. ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» // Сайт юридической фирмы «Интернет и Право» URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/27885/> (дата обращения: 11.03.2023).
11. Национальный стандарт Российской Федерации. Средства огнезащиты для стальных конструкций // Сайт «Библиотека нормативной документации». URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293830/4293830765.pdf> (дата обращения: 11.03.2023).

## Сведения об авторах

**Ротару Алена Николаевна:** ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), н. с. науч.-исслед. отдела.  
Москва, Россия.  
SPIN-код: 4072-3900.

**Маклаков Александр Сергеевич:** ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела.  
Москва, Россия.  
SPIN-код: 3626-2084.

## Information about authors

**Rotaru Aliona N.:** All-Russian Research Institute for Civil Defence and Emergencies, Researcher, Research Department.  
Moscow, Russia.  
SPIN-scientific: 4072-3900.

**Maklakov Alexander S.:** All-Russian Research Institute for Civil Defence and Emergencies, Senior Researcher, Research Department.  
Moscow, Russia.  
SPIN-scientific: 3626-2084.

## Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
Разумов В.В. и др. Масштабы и опасность наводнений в регионах России.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=35108092">https://elibrary.ru/item.asp?id=35108092</a>
Акимов В. А. Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной научной картине мира.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=36813168">https://elibrary.ru/item.asp?id=36813168</a>
Сосунов И.В. и др. Проблемные вопросы разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в составе проектной документации объектов капитального строительства. Монография.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=28414015">http://elibrary.ru/item.asp?id=28414015</a>
Пучков В.А. и др. Мы первыми приходим на помощь. Литературно-художественный публицистический сборник	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29281817">https://elibrary.ru/item.asp?id=29281817</a>
Акимов В.А. и др. Стандартизация в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций. Монография. В 2-х т. Т. I.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29741180">https://elibrary.ru/item.asp?id=29741180</a>
Акимов В.А. и др. Стандартизация в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций. Монография. В 2-х т. Т. II.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29919459">https://elibrary.ru/item.asp?id=29919459</a>
Пучков В.А. и др. Огнеборцы. Литературно-художественный публицистический сборник.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29281821">https://elibrary.ru/item.asp?id=29281821</a>
Афлятунов Т.И. и др. Сборник примерных программ курсового обучения населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=29013219">http://elibrary.ru/item.asp?id=29013219</a>
Пучков В.А. Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 4-е, актуализ. и дополн.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29352006">https://elibrary.ru/item.asp?id=29352006</a>