

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.58>

УДК 614.841.33:624.014.2

ТАБЛИЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ СТАЛЬНЫХ БАЛОК БЕЗ ОГНЕЗАЩИТЫ

Жамойдик С.М., Шкараденюк К.В., Лященко С.Ф.

Цель. Разработка табличных данных для оценки огнестойкости изгибаемых стальных балок.

Методы. Аналитическое решение теплотехнической и статической задач огнестойкости изгибаемых стальных конструкций.

Результаты. Для сортамента стальных двутавровых балок – двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93 из сталей марок С245, С255, С285, С345 – определены (в зависимости от пролета, класса сечения и условий работы конструкции) предельные значения нагрузки, при которых балка может быть применена в здании без нанесения огнезащиты, обеспечивая огнестойкость 15 и 30 мин. На основании проведенных расчетов разработаны табличные данные для оценки огнестойкости стальных балок без огнезащиты.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач огнестойкости изгибаемых стальных балок с учетом нагрузки при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Ключевые слова: незащищенные стальные балки, предельная нагрузка, предел текучести, изгиб, сдвиг.

(Поступила в редакцию 6 января 2022 г.)

Введение

Базовая характеристика всей системы противопожарной защиты зданий – огнестойкость, обеспечение которой является неотъемлемой частью проектирования и строительства зданий¹ [1; 2].

В настоящей статье принята терминология по СН 2.01.03-2020², согласно которому огнестойкость (предел огнестойкости) – способность конструктивной системы, ее части или отдельной конструкции выполнять требуемые функции (несущую и (или) ограждающую) в течение установленной продолжительности регламентируемого пожара при заданном уровне нагрузки. Классификация методов расчета огнестойкости принята по ТКП EN 1993-1-2-2009³, согласно которому методы расчета подразделяются на общие, упрощенные и методы, применяющие табличные данные.

Упрощенные методы расчета и методы, применяющие табличные данные, в основном используются для определения огнестойкости отдельных элементов конструкций с простыми граничными условиями, в то время как общий метод расчета огнестойкости используется для анализа части конструктивной схемы и всей конструкции. Наименее трудоемкими методами определения огнестойкости являются методы, применяющие табличные данные. Используемые в них таблицы получены путем множества расчетов параметров огнестойкости типовых конструкций упрощенным и общим методом, результаты которых обобщены и представлены в табличном виде и в большинстве случаев не требуют дополнительных вычислений.

¹ Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ: принят 02.07.2013; вступ. в силу 01.08.2010 / постановление Совета Министров Респ. Беларусь. – Минск: Госстандарт, 2015. – 25 с.

² Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03-2019; введ. 08.09.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

³ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1-2009 (02250); введ. 01.01.10. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 93 с.

В современной практике строительства стальные конструкции находят широкое применение. Поэтому изучение проблем их огнестойкости, направленное на снижение гибели людей и материальных потерь от пожаров, является важной и актуальной задачей.

Согласно требованиям п. 5.3.5 СН 2.02.05-2020⁴ в зданиях II–IV степени огнестойкости стальные конструкции могут быть применены незащищенными (без обеспечения фактического предела огнестойкости R (E, RE, REI) 15), если требуемый предел огнестойкости конструкции не превышает R (E, RE, REI) 15.

Огнестойкость стальных конструкций в общем случае зависит от коэффициента сечения (приведенной толщины металла), класса сечения по ТКП EN 1993-1-1-2009⁵, уровня нагружения и условий работы конструкции. Таким образом, в зависимости от комбинации этих характеристик, также будет меняться и огнестойкость конструкции.

При использовании упрощенных методов расчета (без решения статической задачи) критическую температуру стальных конструкций 1–3-го класса сечения по ТКП EN 1993-1-1-2009 в общем случае допускается принимать 500 °С, для стальных конструкций 4-го класса сечения – 350 °С по ТКП EN 1993-1-2-2009⁶.

Согласно ТКП 45-2.02-110-2008⁷ огнестойкость стальных конструкций R15 в общем случае обеспечивается при приведенной толщине металла от 8 мм – для 1–3-го класса сечения и от 15 мм – для 4-го класса сечения. Все конструкции, имеющие приведенную толщину металла менее указанной, в общем случае обладают фактической огнестойкостью ниже 15 мин, и в случае пожара произойдет их преждевременное обрушение, что противоречит требованиям норм проектирования. Следовательно, такие конструкции не должны применяться в зданиях II–IV степени огнестойкости без огнезащиты.

Наступление предельного состояния R (потеря несущей способности) стальных конструкций, вызванное нагревом конструкции при пожаре, происходит по двум причинам: потеря прочности из-за снижения предела текучести стали и потеря устойчивости из-за деформации вследствие снижения модуля упругости стали. Исходя из этого проектирование стальных конструкций должно основываться на расчетных методах, учитывающих специфику работы стальных элементов при пожаре.

Для оценки огнестойкости стальных конструкций применяются упрощенные и общие методы расчета, в то время как для железобетонных и каменных конструкций на основании проведенных расчетов разработаны и представлены в ТКП 45-2.02-110-2008⁸, ТКП EN 1992-1-2-2009⁹ и ТКП EN 1996-1-2-2009¹⁰ методы оценки огнестойкости, применяющие табличные данные, на основании которых инженер-конструктор способен оценить огнестойкость конструкций при минимальных трудозатратах.

Аналогичный метод оценки огнестойкости стальных конструкций без огнезащиты частично представлен в ТКП 45-2.02-110-2008¹¹ в виде номограммы для определения их нагрева при стандартном температурном режиме, которая отражает решение только теплотехнической задачи. Табличные методы разрабатывают для стальных конструкций с огнезащитой. В таблицах приводится информация для определения времени их нагрева

⁴ СН 2.02.05-2020. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Взамен СН 2.02.01-2019, ТКП 45-2.02-315-2018 (33020). – Введ. 04.04.21. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2021. – 70 с.

⁵ См. сноску 3.

⁶ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250); введ. 01.01.20. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 77 с.

⁷ ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости. – Взамен П1-02 к СНБ 2.02.01-98. – Введ. 12.06.08. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2008. – 126 с.

⁸ См. сноску 7.

⁹ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2 (02250); введ. 10.12.09. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 86 с.

¹⁰ Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1996-1-2-2009 (02250); введ. 10.12.09. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 112 с.

¹¹ См. сноску 7.

до критической температуры в зависимости от коэффициента сечения (приведенной толщины металла), вида сортамента и толщины огнезащиты^{12, 13} [2–7], но для оценки огнестойкости в последующем необходимо решить статическую задачу.

В целях снижения трудоемкости подбора параметров стальных балок, соответствующих заданному пределу огнестойкости, для оценки их огнестойкости необходимо подготовить табличные данные, учитывающие статическую и теплотехническую задачи.

Основная часть

Подтверждение огнестойкости строительных конструкций осуществляется сравнением фактических параметров с требуемыми. Согласно СН 2.01.03-2019¹⁴ используются:

временные

$$t_{f_i, d} \geq t_{f_i, requ} \quad (1)$$

прочностные

$$R_{f_i, d, t} \geq E_{f_i, d, t} \quad (2)$$

и температурные параметры

$$\theta_d < \theta_{cr, d} \quad (3)$$

где $t_{f_i, d}$ – расчетный предел огнестойкости, мин;

$t_{f_i, requ}$ – требуемый предел огнестойкости, мин;

$R_{f_i, d, t}$ – расчетное сопротивление элемента при пожаре в момент времени t ;

$E_{f_i, d, t}$ – расчетный результат воздействия при пожаре в момент времени t ;

θ_d – расчетная температура материала, °С;

$\theta_{cr, d}$ – расчетная критическая температура материала, °С.

Определение указанных параметров является трудоемким и сложным процессом и включает множество отдельных взаимосвязанных алгоритмов по решению статических и теплотехнических задач.

Все параметры, входящие неравенства (1)–(3), функционально взаимосвязаны между собой и нагрузкой, действующей на несущую конструкцию при пожаре. В качестве альтернативы проверки обеспечения огнестойкости строительных конструкций предлагается проверка условия по предельной нагрузке на конструкцию:

$$q_{f_i, t, Rd} \geq q_{f_i, t, Ed} \quad (4)$$

где $q_{f_i, t, Rd}$ – предельная нагрузка на метр погонный конструкции при пожаре в момент времени t , кН/м; $q_{f_i, t, Ed}$ – расчетная нагрузка на метр погонный конструкции при пожаре в момент времени t , кН/м.

¹² Инструкция по определению необходимой толщины огнезащитной системы «ЕТ Металл», выполненной из плит минераловатных теплоизоляционных огнезащитных EURO-ЛИТ плотностью 150 кг/м³ ТУ 5762-011-08621635-2009 с изм. 1 и огнезащитного состава «Плазас» ТУ 5765-013-70794668-2006 в зависимости от приведенной толщины металла, критической температуры стальной строительной конструкции и требуемого предела огнестойкости: утв. нач. ФГБОУ ВПО Уральский ин-т ГПС МЧС России 26.09.2014. – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России, 2014. – 31 с.

¹³ Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными облицовками, выполненными из плит КНАУФ-Файерборд ТУ 5742-006-01250242-2009 по стальному каркасу из тонколистовых оцинкованных профилей ТУ 1121-012-04001508-2011: утв. зам. нач. ФГБУ ВНИИПО МЧС России 19.03.2012. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – 40 с.

¹⁴ См. сноску 2.

Как правило, расчетная нагрузка для сочетания воздействий в случаях особых расчетных ситуаций (при пожаре) E_d по СН 2.01.01-2019¹⁵ вычисляется на предпроектной стадии по формуле:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ или } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}, \quad (5)$$

где $G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного воздействия j ;

P – определяющее репрезентативное значение усилия предварительного напряжения;

A_d – расчетное значение особого воздействия;

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;

$Q_{k,i}$ – характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия i ;

$\psi_{1,i}$ – коэффициент, учитывающий частоту повторения временного воздействия;

$\psi_{2,i}$ – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение временного воздействия.

Затем значение, полученное по формуле (5), в зависимости от грузовой площади балки пересчитывается на метр погонный ее длины. Поэтому для использования неравенства (4) необходимо установить предельную нагрузку, в случае превышения которой произойдет потеря несущей способности стальных балок.

Настоящая статья посвящена разработке табличных данных для оценки огнестойкости стальных балок, защищенных от потери устойчивости, несущая способность которых определяется только по критерию прочности. Рассматриваемые табличные данные распространяются на раскрепленные балки: двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93¹⁶ для сталей марок: С245, С255, С285, С345 с равномерно распределенной нагрузкой по длине при равномерном распределении температуры по сечению балки.

Для получения табличных данных по оценке огнестойкости стальных балок без огнезащиты были решены следующие задачи:

1. Для указанного сортамента прокатных профилей определен нагрев расчетного сечения стальной балки на 15 и 30 мин стандартного огневого воздействия.

Прирост температуры стальной балки без огнезащиты $\Delta\theta_{a,t}$ при равномерном ее нагреве за промежуток времени Δt определен из соотношения

$$\frac{\Delta\theta_{a,t}}{\Delta t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m}{V_m c_a \rho_a} \cdot h_{net}, \quad (6)$$

где k_{sh} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние теневого эффекта;

A_m – площадь поверхности конструкций на единицу длины, м²/м;

V_m – объем конструкций на единицу длины, м³/м;

c_a – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг×К);

h_{net} – расчетное значение результирующего теплового потока на единицу площади, Вт/м²;

ρ_a – плотность стали, принимаемая 7850 кг/м³;

Δt – промежуток времени, при этом $\Delta t \leq 5$ с.

Результаты проведенных расчетов изменения температуры для части стальных балок для двутавров нормальных (Б) по СТО АСЧМ 20-93 во времени приведены на рисунке 1.

¹⁵ СН 2.01.01-2019 Основы проектирования строительных конструкций. – Взамен ТКП EN 1990-2011 (02250). – Введ. 08.09.20. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2021. – 90 с.

¹⁶ СТО АСЧМ 20-93. Стандарт ассоциации предприятий и организаций по стандартизации продукции черной металлургии. Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. – Введ. 01.01.94. – Ассоциация «Черметстандарт», 2008. – 12 с.

2. На основании расчета изменения температуры сечения стальной балки определен коэффициент снижения предела текучести $k_{y,\theta}$ по таблице 3.1 ТКП EN 1993-1-2-2009¹⁷.

3. Согласно ТКП EN 1993-1-2-2009 и с учетом ТКП EN 1993-1-1-2009¹⁸ определены расчетные сопротивления изгибающему моменту $M_{fi,t,Rd}$ (Н·м) и сдвигу $V_{fi,t,Rd}$ (Н).

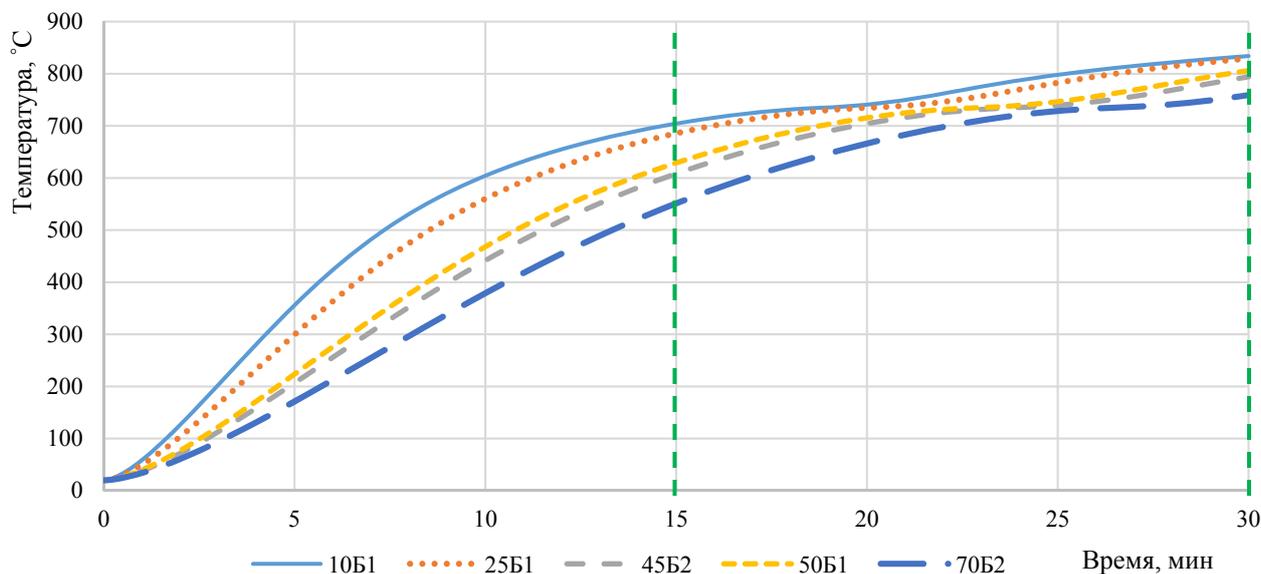


Рисунок 1. – График изменения температуры стали во времени для двутавров нормальных по СТО АСЧМ 20-93

Потеря несущей способности стальных балок при пожаре в момент времени t под действием равномерно распределенной нагрузки, как правило, наступает вследствие снижения расчетного сопротивления поперечного сечения изгибающему моменту до значения действующего изгибающего момента. Исключение составляют стальные балки короткого пролета, у которых при пожаре в момент времени t происходит потеря несущей способности вследствие превышения расчетного усилия сдвига в поперечном сечении, вызванного действием равномерно распределенной нагрузки, расчетного сопротивления сдвигу стальной балки. Таким образом, предельную нагрузку на метр погонный стальной балки при пожаре в момент времени t определяли по двум критериям: изгибающему моменту и усилию сдвига в расчетных сечениях.

При проведении расчета поперечное сечение каждого несущего элемента каркаса должно быть классифицировано в зависимости от уровня нормальных напряжений, геометрических размеров сечения и физико-механических характеристик стали. Классификация поперечных сечений зависит от отношения ширины к толщине частей сечения, расположенных в его сжатой зоне. Сжатые зоны включают все части поперечного сечения, которые полностью или частично сжаты под действием рассматриваемого сочетания нагрузок. Различные сжатые части поперечного сечения (такие как стенка или полка) могут относиться к различным классам. Поперечное сечение классифицируется по наивысшему (наименее благоприятному) классу его сжатых частей и определяется в соответствии с ТКП EN 1993-1-1-2009.

Расчетное сопротивление изгибающему моменту $M_{fi,t,Rd}$ поперечных сечений 1–3-го класса в момент времени t обычно определяется в предположении равномерного распределения температуры $\theta_{a,t}$ по площади поперечного сечения путем корректировки расчетного сопротивления при нормальной температуре по ТКП EN 1993-1-1-2009 с учетом изменения механических свойств стали при повышенных температурах

¹⁷ См. сноску 6.

¹⁸ См. сноску 3.

$$M_{f_i, t, Rd} = \frac{W_{pl(elt)} f_y k_{y, \theta}}{\gamma_{M, fi}}, \quad (7)$$

где $k_{y, \theta}$ – коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a ;

W_{pl} и W_{el} – моменты сопротивления сечения в пластической (для сечений 1-го и 2-го класса) и упругой (для сечений 3-го класса) стадиях, м³;

f_y – предел текучести при 20 °С (определяемый с учетом требований таблицы НП.1 ТКП EN 1993-1-1-2009), Па;

$\gamma_{M, fi}$ – частный коэффициент безопасности для соответствующей характеристики материала при пожаре, равен 1.

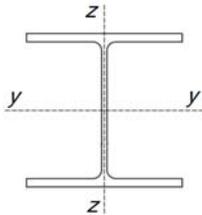


Рисунок 2. – Поперечное сечение стальной балки

Расчетное сопротивление сдвигу $V_{fi, t, Rd}$ определяется по формуле:

$$V_{fi, t, Rd} = \frac{A_v f_y k_{y, \theta}}{\sqrt{3} \gamma_{M, fi}}, \quad (8)$$

где A_v – площадь сдвига, м².

В формулах (7)–(8) рассматривалось приложение нагрузки к верхней полке стального двутавра (рис. 2).

Принимаем, что огнестойкость стальных балок при 4- и 3-стороннем огневом воздействии составляет 15 и 30 мин. Тогда в силу (1)–(3) расчетное значение действующего изгибающего момента $M_{fi, t, Ed}$ будет равно расчетному сопротивлению поперечного сечения изгибающему моменту при равномерном распределении температуры $\theta_{a, t}$, а расчетное усилие сдвига в поперечном сечении $V_{fi, t, Ed}$ будет равно расчетному сопротивлению балки на сдвиг:

$$M_{fi, t, Ed} = M_{fi, t, Rd}, \quad (9)$$

$$V_{fi, t, Ed} = V_{fi, t, Rd}. \quad (10)$$

4. Определены предельные значения нагрузки на метр погонный балки по изгибающему моменту q_M и усилию сдвига q_V (кН/м), при которых огнестойкость балки составляет 15 и 30 мин.

Значение действующего изгибающего момента при нормальных условиях для шарнирно опертой балки при равномерно распределенной нагрузке определяется по правилам строительной механики по формуле:

$$M_{fi, t, Ed} = \frac{1}{8} q_M l^2, \quad (11)$$

где q_M – нагрузка, кН/м; l – длина пролета, м.

Расчетное усилие сдвига поперечного сечения определяется по формуле:

$$V_{fi, t, Ed} = \frac{q_V l}{2}. \quad (12)$$

В силу (9), подставив в формулу (11) значение расчетного сопротивления балки на изгиб и задав длину пролета, легко получить предельное значение нагрузки на метр погонный балки по изгибающему моменту q_M (кН/м), при котором ее огнестойкость будет составлять 15 и 30 мин:

$$q_M = 8M_{fi, t, Ed} / l^2. \quad (13)$$

Аналогично в силу (10) из (12) определяется предельное значение нагрузки на метр погонный балки по усилию сдвига q_V (кН/м), при котором ее огнестойкость будет составлять 15 и 30 мин:

$$q_V = 2V_{f_i,t,Rd} / l. \quad (14)$$

Блок-схема алгоритма определения предельного значения нагрузки в результате действия изгибающего момента и усилия сдвига представлена на рисунке 3.

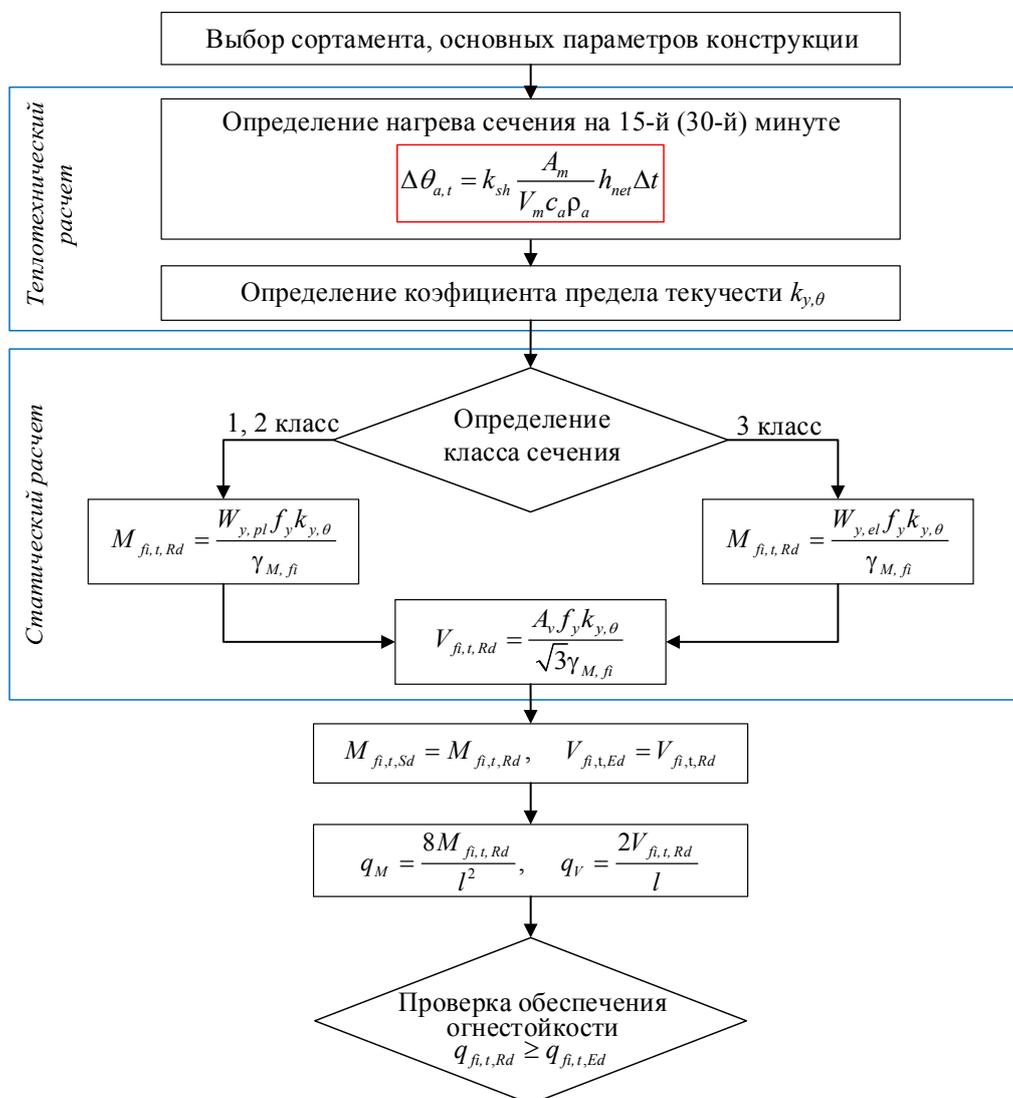


Рисунок 2. – Структурная схема алгоритма определения предельных значений нагрузки для 1–3-го класса сечений, при которых наступит потеря несущей способности стальных балок

Значения результата воздействий при пожаре в момент времени 15 и 30 мин для шарнирно опертой балки с учетом коэффициента расчетного уровня нагрузки двутавров нормальных (Б) и широкополочных двутавров (Ш) по СТО АСЧМ 20-93¹⁹ рассчитаны для сталей марок С245, С255, С285, С345. Результаты расчетов представлены в таблице.

Таким образом, для рассматриваемого сортамента разработаны табличные данные с предельными значениями нагрузки на метр погонный балки по изгибающему моменту q_M и усилию сдвига q_V . Представленные табличные данные позволяют использовать неравенство (4) для подтверждения огнестойкости стальных балок без огнезащиты.

¹⁹ См. сноску 16.

Правила использования таблицы

1. Сравнить расчетную нагрузку на погонный метр выбранного профиля, имеющего длину пролета l , с предельной нагрузкой, указанной в соответствующей ячейке времени огневого воздействия таблицы. В случае если расчетная нагрузка превышает указанные в таблице значения, то для данного стального профиля с длиной пролета l необходимо применять огнезащиту с целью повышения предела огнестойкости.

2. Значения величины нагрузки на погонный метр балки для промежуточной длины пролета определяются линейной интерполяцией.

Таблица 2. – Предельные значения нагрузки изгибающему моменту q_M и сдвигу q_V на погонный метр стальной балки сортамента двутавров нормальных (Б) и широкополочных (Ш) по СТО АСЧМ 20-93, при которых огнестойкость балки при 4-стороннем огневым воздействии составляет 15 и 30 мин

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
Сталь С245/255										
Нормальные двутавры										
10Б1	60,1 / 64,4	24,9 / 26,4	1,6 / 10,7	0,6 / 4,4	0,4	0,1	0,1	0,08	0,1	0,04
12Б1	75,2 / 67,1	32 / 28,1	2,0 / 11,1	0,8 / 4,6	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06
12Б2	95,0 / 81,7	39,0 / 33,2	2,6 / 13,6	1,0 / 5,5	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,07
14Б1	110,0 / 78,1	46,0 / 32,3	3,0 / 13,0	1,2 / 5,3	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1	0,08
14Б2	142,4 / 103,5	56,9 / 40,2	3,9 / 17,2	1,5 / 6,7	0,9	0,4	0,4	0,1	0,2	0,1
16Б1	154,8 / 99,6	64 / 41,1	4,3 / 16,6	1,7 / 6,8	1,0	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1
16Б2	205,4 / 137,8	80,9 / 51,4	5,7 / 22,9	2,2 / 8,5	1,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,1
18Б1	216,6 / 120,4	88,6 / 48,4	6,0 / 20,0	2,4 / 8,0	1,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,1
18Б2	284,4 / 168,9	110,0 / 60,5	7,9 / 28,1	3,0 / 10,0	1,9	0,7	0,8	0,3	0,4	0,1
20Б1	361,2 / 204,3	138,8 / 71,8	10,0 / 34,0	3,8 / 11,9	2,5	0,9	1,1	0,4	0,6	0,2
25Б1	552,3 / 225,8	214,7 / 81,5	15,3 / 37,6	5,9 / 13,5	3,8	1,4	1,7	0,6	0,9	0,3
25Б2	671,0 / 300,4	248,9 / 98,1	18,6 / 50,0	6,9 / 16,3	4,6	1,7	2,0	0,7	1,1	0,4
30Б1	837,7 / 225,4	319,0 / 78,7	23,2 / 37,5	8,8 / 13,1	5,8	2,2	2,5	0,9	1,4	0,5
30Б2	1009,9 / 385,8	369,2 / 126,0	28,0 / 64,3	10,2 / 21,0	7,0	2,5	3,1	1,1	1,7	0,6
35Б1	1332,4 / 413,6	492,8 / 134,1	37,0 / 68,9	13,6 / 22,3	9,2	3,4	4,1	1,5	2,3	0,8
35Б2	1785,9 / 441,0	625,6 / 126,3	49,6 / 73,5	17,3 / 21,0	12,4	4,3	5,5	1,9	3,1	1,0
40Б1	2338,5 / 505,3	816,6 / 143,5	64,9 / 84,2	22,6 / 23,9	16,2	5,6	7,2	2,5	4,0	1,4
40Б2	3921,6 / 887,9	1022,0 / 230,4	108,9 / 147,9	28,3 / 38,4	27,2	7,1	12,1	3,1	6,8	1,7
45Б1	3945,2 / 923,9	1069,4 / 248,7	109,5 / 153,9	29,7 / 41,4	27,4	7,4	12,1	3,3	6,8	1,8
45Б2	5222,0 / 1196,9	1317,1 / 293,2	145,0 / 199,4	36,5 / 48,8	36,2	9,1	16,1	4,0	9,0	2,2
50Б1	4696,9 / 1140,8	1256,3 / 303,0	130,4 / 190,1	34,9 / 50,5	32,6	8,7	14,5	3,8	8,1	2,1
50Б2	5811,2 / 1274,9	1482,5 / 326,1	161,4 / 212,4	41,1 / 54,3	40,3	10,3	17,9	4,5	10,0	2,5
50Б3	7442,8 / 1659,1	1785,6 / 432,1	206,7 / 276,5	49,6 / 72,0	51,6	12,4	22,9	5,5	12,9	3,1
55Б1	7203,5 / 1566,3	1816,9 / 405,5	200,1 / 261,0	50,4 / 67,5	50,0	12,6	22,2	5,6	12,5	3,1
55Б2	8063,6 / 1860,0	2033,9 / 482,6	223,9 / 310,0	56,5 / 80,4	56,0	14,1	24,8	6,2	14	3,5
60Б1	8280,6 / 1786,2	2061,1 / 464,1	230,0 / 297,7	57,2 / 77,3	57,5	14,3	25,5	6,3	14,3	3,5
60Б2	10 367,6 / 2244,5	2455,0 / 579,3	287,9 / 374,0	68,2 / 96,5	72,0	17,0	32,0	7,5	18	4,2
70Б0	13 021,7 / 2685,1	3100,4 / 694,7	361,7 / 447,5	86,1 / 115,7	90,4	21,5	40,1	9,5	22,6	5,3
70Б1	15 088,0 / 2879,4	3514,8 / 746,3	419,1 / 479,9	97,6 / 124,3	104,7	24,4	46,5	10,8	26,1	6,1
70Б2	19 301,1 / 3464,1	4300,1 / 882,7	536,1 / 577,3	119,4 / 147,1	134,0	29,8	59,5	13,2	33,5	7,4
Широкополочные двутавры										
20Ш1	659,5 / 282,8	235,5 / 84,3	18,3 / 47,1	6,5 / 14,0	4,5	1,6	2,0	0,7	1,1	0,4
25Ш1	1243,2 / 499,1	420,8 / 133,5	34,5 / 83,1	11,6 / 22,2	8,6	2,9	3,8	1,3	2,1	0,7
30Ш1	2032,0 / 740,9	677,4 / 184,8	56,4 / 123,4	18,8 / 30,8	14,1	4,7	6,2	2,0	3,5	1,1
30Ш2	2830,0 / 1052,0	920,9 / 272,1	78,6 / 175,3	25,5 / 45,3	19,6	6,4	8,7	2,8	4,9	1,6

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
35Ш1	2927,6 / 589,9	976,0 / 151,2	81,3 / 98,3	27,1 / 25,2	20,3	6,7	9,0	3,0	5,0	1,6
35Ш2	3779,2 / 845,2	1229,7 / 219,1	104,9 / 140,8	34,1 / 36,5	26,2	8,5	11,6	3,8	6,5	2,1
40Ш1	5068,4 / 957,7	1657,2 / 248,2	140,7 / 159,6	46,0 / 41,3	35,2	11,5	15,6	5,1	8,8	2,8
40Ш2	6468,8 / 1281,6	2052,4 / 324,4	179,6 / 213,6	57,0 / 54,0	44,9	14,2	19,9	6,3	11,2	3,5
45Ш1	8772,1 / 2379,1	2737,6 / 577,8	243,6 / 396,5	76,0 / 96,3	60,9	19,0	27,0	8,4	15,2	4,7
50Ш1	7836,1 / 1609,1	2513,9 / 412,3	217,6 / 268,1	69,8 / 68,7	54,4	17,4	24,1	7,7	13,6	4,3
50Ш2	10 551,3 / 3487,7	3216,3 / 841,3	293,0 / 581,2	89,3 / 140,2	73,2	22,3	32,5	9,9	18,3	5,5
50Ш3	12 523,8 / 3991,5	3614,7 / 911,3	347,8 / 665,2	100,4 / 151,8	86,9	25,1	38,6	11,1	21,7	6,2
50Ш4	15 048,3 / 4602,5	4164,1 / 1011,3	418,0 / 767,0	115,6 / 168,6	104,5	28,9	46,4	12,8	26,1	7,2
60Ш1	11 539,8 / 3061,4	3680,6 / 776,0	320,5 / 510,2	102,2 / 129,3	80,1	25,5	35,6	11,3	20,0	6,3
60Ш2	15 564,8 / 4769,1	4576,0 / 1103,3	432,3 / 794,8	127,1 / 183,8	108,0	31,7	48,0	14,1	27,0	7,9
60Ш3	19 996,1 / 5952,1	5518,7 / 1308,5	555,4 / 992,0	153,3 / 218,0	138,8	38,3	61,7	17,0	34,7	9,5
60Ш4	24 633,9 / 7190,3	6635,5 / 1589,5	684,2 / 1198,3	184,3 / 264,9	171,0	46,0	76,0	20,4	42,7	11,5
70Ш1	25 396,8 / 4187,0	5352,9 / 1031,8	705,4 / 697,8	148,6 / 171,9	176,3	37,1	78,3	16,5	44,0	9,2
70Ш2	31 440,0 / 5253,5	6082,5 / 1214,8	873,3 / 875,5	168,9 / 202,4	218,3	42,2	97,0	18,7	54,5	10,5
70Ш3	42 815,3 / 7055,5	7474,8 / 1546,0	1189,3 / 1175,9	207,6 / 257,6	297,3	51,9	132,1	23,0	74,3	12,9
70Ш4	53 187,5 / 8687,2	8970,5 / 1930,4	1477,4 / 1447,8	249,1 / 321,7	369,3 / 723,9	62,3 / 160,8	164,1	27,6	92,3	15,5
80Ш1	24 388,4 / 4252,0	5396,8 / 1083,3	677,4 / 708,6	149,9/180,5	169,3	37,4	75,2	16,6	42,3	9,3
80Ш2	32 706,5 / 5086,6	6695,3 / 1226,8	908,5 / 847,7	185,9 / 204,4	227,1 / 423,8	46,5 / 102,2	100,9	20,6	56,7	11,6
90Ш1	32 858,8 / 5625,2	7030,0 / 1402,1	912,7 / 937,5	195,2 / 233,6	228,1	48,8	101,4	21,7	57,0	12,2
90Ш2	36 823,6 / 6147,6	7878,4 / 1463,7	1022,8 / 1024,6	218,8 / 243,9	255,7	54,7	113,6	24,3	63,9	13,6
100Ш1	46 145,9 / 7079,4	9418,8 / 1705,5	1281,8 / 1179,9	261,6 / 284,2	320,4	65,4	142,4	29,0	80,1	16,3
100Ш2	58 441,6 / 8341,2	11 050,2 / 1911,5	1623,3 / 1390,2	306,9 / 318,5	405,8	76,7	180,3	34,1	101,4	19,1
100Ш3	71 260,4 / 9500,6	12 740,8 / 2096,7	1979,4 / 1583,4	353,9 / 349,4	494,8 / 791,7	88,4 / 147,7	219,9	39,3	123,7	22,1
100Ш4	84 760,6 / 11 001,4	14 499,8 / 2409,1	2354,4 / 1833,5	402,7 / 401,5	588,6 / 916,7	100,6 / 200,7	261,6	44,7	147,1	25,1
Сталь С285										
Нормальные двутавры										
10Б1	67,5 / 72,3	27,8 / 29,7	1,8 / 12,0	0,7 / 4,9	0,4	0,1	0,2	0,09	0,1	0,05
12Б1	84,4 / 75,3	35,8 / 31,6	2,3 / 12,5	1,0 / 5,2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06
12Б2	106,8 / 91,8	43,8 / 37,2	2,9 / 15,3	1,2 / 6,2	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1	0,08
14Б1	123,5 / 87,6	51,8 / 36,3	3,4 / 14,6	1,4 / 6,0	0,8	0,3	0,3	0,1	0,2	0,09
14Б2	160,0 / 116,1	64,0 / 45,2	4,4 / 19,3	1,7 / 7,5	1,1	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1
16Б1	173,7 / 111,8	72,0 / 46,1	4,8 / 18,6	2,0 / 7,6	1,2	0,5	0,5	0,2	0,3	0,1
16Б2	230,4 / 154,7	90,8 / 57,7	6,4 / 25,7	2,5 / 9,6	1,6	0,6	0,7	0,2	0,4	0,1
18Б1	243,2 / 135,1	99,2 / 54,3	6,76 / 22,5	2,7 / 9,0	1,6	0,6	0,7	0,3	0,4	0,1

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
18Б2	319,3 / 189,6	123,5 / 67,9	8,8 / 31,6	3,4 / 11,3	2,2	0,8	0,9	0,3	0,5	0,2
20Б1	405,7 / 229,3	155,8 / 80,7	11,2 / 38,2	4,3 / 13,4	2,8	1,0	1,2	0,4	0,7	0,2
25Б1	620,1 / 253,5	240,9 / 91,5	17,2 / 42,2	6,6 / 15,2	4,3	1,6	1,9	0,7	1,0	0,4
25Б2	753,2 / 337,2	279,6 / 110,1	20,9 / 56,2	7,7 / 18,3	5,2	1,9	2,3	0,8	1,3	0,4
30Б1	940,4 / 253,0	358,4 / 88,3	26,1 / 42,1	9,9 / 14,7	6,5	2,4	2,9	1,1	1,6	0,6
30Б2	1133,4 / 433,1	414,4 / 141,4	31,4 / 72,1	11,5 / 23,5	7,8	2,8	3,5	1,2	1,9	0,7
35Б1	1495,3 / 464,2	552,9 / 150,6	41,5 / 77,3	15,3 / 25,1	10,3	3,8	4,6	1,7	2,6	0,9
35Б2	1931,5 / 477,0	676,8 / 136,6	53,6 / 79,5	18,8 / 22,7	13,4	4,7	5,9	2,0	3,3	1,1
40Б1	2529,2 / 546,5	883,2 / 155,2	70,2 / 91,0	24,5 / 25,8	17,5	6,1	7,8	2,7	4,3	1,5
40Б2	4241,6 / 960,3	1105,6 / 249,2	117,8 / 160,0	30,7 / 41,5	29,4	7,6	13,0	3,4	7,3	1,9
45Б1	4267,2 / 999,3	1156,8 / 269,0	118,5 / 166,5	32,1 / 44,8	29,6	8,0	13,1	3,5	7,4	2,0
45Б2	5648,3 / 1294,6	1424,6 / 317,1	156,9 / 215,7	39,5 / 52,8	39,2	9,8	17,4	4,4	9,8	2,4
50Б1	5080,6 / 1234,0	1359,0 / 327,8	141,1 / 205,6	37,7 / 54,3	35,2	9,4	15,6	4,1	8,8	2,3
50Б2	6285,4 / 1378,9	1603,5 / 352,7	174,6 / 229,8	44,5 / 58,7	43,6	11,1	19,4	4,9	10,9	2,7
50Б3	8050,5 / 1794,6	1931,5 / 467,3	223,6 / 299,1	53,6 / 77,8	55,9	13,4	24,8	5,9	13,9	3,3
55Б1	7791,3 / 1694,2	1965,1 / 438,6	216,4 / 282,3	54,5 / 73,1	54,1	13,6	24,0	6,0	13,5	3,4
55Б2	8721,9 / 2011,8	2200,0 / 522,0	242,2 / 355,3	61,11 / 87,0	60,5	15,2	26,9	6,7	15,1	3,8
60Б1	8956,4 / 1932,0	2229,4 / 502,0	248,7 / 322,0	61,9 / 83,6	62,2	15,4	27,6	6,8	15,5	3,8
60Б2	11 214,0 / 2421,7	2655,3 / 626,6	311,5 / 404,6	73,7 / 104,4	77,8	18,4	34,6	8,2	19,4	4,6
70Б0	14 084,8 / 2904,3	3353,6 / 751,5	391,2 / 484,0	93,1 / 125,2	97,8	23,2	43,4	10,3	24,4	5,8
70Б1	16 319,6 / 3114,5	3801,9 / 807,2	453,3 / 519,0	105,6 / 134,5	113,3	26,4	50,3	11,7	28,3	6,6
70Б2	20 876,8 / 3746,8	4651,2 / 954,8	579,9 / 624,4	129,2 / 159,1	144,9	32,3	64,4	14,3	36,2	8,0
Широкополочные двутавр										
20Ш1	740,4 / 317,4	264,3 / 94,6	20,5 / 52,9	7,3 / 15,7	5,1	1,8	2,2	0,8	1,2	0,4
25Ш1	1344,6 / 539,9	455,3 / 144,4	37,3 / 89,9	12,6 / 24,0	9,3	3,1	4,1	1,4	2,3	0,7
30Ш1	2198,0 / 801,4	732,8 / 199,9	61,0 / 133,5	20,3 / 33,3	15,2	5,0	6,7	2,2	3,8	1,2
30Ш2	3060,8 / 1137,9	996,1 / 294,3	85,0 / 189,6	27,6 / 49,0	21,2	6,9	9,4	3,0	5,3	1,7
35Ш1	3166,7 / 638,0	1055,6 / 163,6	87,9 / 106,3	29,3 / 27,2	21,9	7,3	9,7	3,2	5,5	1,8
35Ш2	4087,6 / 914,2	1330,2 / 237,0	113,5 / 152,3	36,9 / 39,5	28,3	9,2	12,6	4,1	7,1	2,3
40Ш1	5482,2 / 1035,9	1792,6 / 268,5	152,2 / 172,6	49,8 / 44,7	38,0	12,4	16,9	5,5	9,5	3,1
40Ш2	6996,8 / 1386,3	2220,1 / 350,9	194,3 / 231,0	61,6 / 58,4	48,5	15,4	21,6	6,8	12,1	3,8
45Ш1	9488,0 / 2573,4	2960,9 / 624,9	263,5 / 428,9	82,2 / 104,1	65,8	20,5	29,2	9,1	16,4	5,1
50Ш1	8475,8 / 1740,4	2719,0 / 446,0	235,4 / 290,0	75,5 / 74,3	58,8	18,8	26,1	8,3	14,7	4,7
50Ш2	11 412,8 / 3772,4	3478,7 / 910,0	317,0 / 628,7	96,6 / 151,6	79,2	24,1	35,2	10,7	19,8	6,0
50Ш3	14 122,8 / 4501,1	4076,1 / 1027,7	392,3 / 750,1	113,2 / 171,2	98,0	28,3	43,5	12,5	24,5	7,0
50Ш4	16 969,2 / 5190,1	4695,6 / 1140,8	471,3 / 865,0	130,4 / 190,1	117,8	32,6	52,3	14,4	29,4	8,1
60Ш1	12 481,9 / 3311,3	3981,1 / 839,4	346,7 / 551,8	110,5 / 139,9	86,6	27,6	38,5	12,2	21,6	6,9
60Ш2	17 552,0 / 5377,9	5160,3 / 1244,1	487,5 / 896,3	143,3 / 207,3	121,8	35,8	54,1	15,9	30,4	8,9

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
60Ш3	22 548,8 / 6711,9	6223,3 / 1475,5	626,3 / 1118,6	172,8 / 245,9	156,5	43,2	69,6	19,2	39,1	10,8
60Ш4	27 778,5 / 8108,2	7482,5 / 1792,4	771,6 / 1351,3	207,8 / 298,7	192,9	51,9	85,7	23,0	48,2	12,9
70Ш1	27 470,0 / 4528,8	5789,7 / 1116,0	763,0 / 754,8	160,8 / 186,0	190,7	40,2	84,7	17,8	47,6	10,0
70Ш2	35 453,7 / 5924,2	6858,8 / 1369,9	984,8 / 987,3	190,5 / 228,3	246,2	47,6	109,4	21,1	61,5	11,9
70Ш3	48 280,9 / 7956,2	8429,1 / 1743,4	1341,1 / 1326,0	234,1 / 290,5	335,2	58,5	149,0	26,0	83,8	14,6
70Ш4	59 977,2 / 9796,2	10 115,8 / 2176,9	1666,0 / 1623,7	281 / 362,8	416,5	70,2	185,1	31,2	104,1	17,5
80Ш1	26 379,5 / 4599,1	5837,4 / 1171,7	732,7 / 766,5	162,1 / 195,2	183,1	40,5	81,4	18,0	45,8	10,1
80Ш2	36 881,9 / 5735,9	7550,0 / 1383,4	1024,5 / 955,9	209,7 / 230,5	256,1	52,4	113,8	23,3	64,0	13,1
90Ш1	35 541,1 / 6084,4	7603,8 / 1516,6	987,2 / 1014,0	211,2 / 252,7	246,8	52,8	109,6	23,4	61,7	13,2
90Ш2	41 524,4 / 6932,4	8883,8 / 1650,5	1153,4 / 1155,4	246,7 / 275,0	288,3	61,6	128,1	27,4	72,0	15,4
100Ш1	52 036,8 / 7983,2	10 621,4 / 1923,2	1445,4 / 1330,5	295,0 / 320,5	361,3	73,7	160,6	32,7	90,3	18,4
100Ш2	65 902,4 / 9406,0	12 460,8 / 2155,5	1830,6 / 1567,6	346,1 / 359,2	457,6	86,5	203,4	38,4	114,4	21,6
100Ш3	80 357,4 / 10 713,5	14 367,3 / 2364,3	2232,1 / 1785,5	399,0 / 394,0	558,0	99,7	248,0	44,3	139,5	24,9
100Ш4	95 581,1 / 12 405,8	16 350,7 / 2716,7	2655,0 / 2067,6	454,1 / 452,7	663,7	113,5	295,0	50,4	165,9	28,3
Сталь С345										
Нормальные двутавры										
10Б1	79,6 / 85,5	32,9 / 35,1	2,2 / 14,2	0,9 / 5,8	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06
12Б1	99,8 / 89,0	42,2 / 37,3	2,7 / 14,8	1,1 / 6,2	0,6	0,2	0,3	0,1	0,1	0,07
12Б2	126,0 / 108,5	51,8 / 44,0	3,5 / 18,0	1,4 / 7,3	0,8	0,3	0,3	0,1	0,2	0,09
14Б1	146,2 / 103,6	61,1 / 42,9	4,0 / 17,2	1,7 / 7,1	1,0	0,4	0,4	0,1	0,2	0,1
14Б2	188,8 / 137,3	75,5 / 53,4	5,2 / 22,8	2,1 / 8,	1,3	0,5	0,5	0,2	0,3	0,1
16Б1	205,4 / 132,2	84,8 / 54,5	5,7 / 22,0	2,3 / 9,0	1,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,1
16Б2	272,3 / 182,8	107,5 / 68,2	7,5 / 30,4	2,9 / 11,3	1,8	0,7	0,8	0,3	0,4	0,1
18Б1	287,3 / 159,7	117,4 / 64,2	7,9 / 26,6	3,2 / 10,7	2	0,8	0,8	0,3	0,5	0,2
18Б2	377,2 / 224,1	145,9 / 80,3	10,4 / 37,3	4,0 / 13,3	2,6	1,0	1,1	0,4	0,6	0,2
20Б1	479,3 / 271,0	184,0 / 95,3	13,3 / 45,1	5,1 / 15,8	3,3	1,2	1,4	0,5	0,8	0,3
25Б1	732,8 / 299,6	284,8 / 108,2	20,3 / 49,9	7,9 / 18,0	5,0	1,9	2,2	0,8	1,2	0,4
25Б2	890,2 / 398,5	330,5 / 130,1	24,7 / 66,4	9,1 / 21,6	6,1	2,3	2,7	1,0	1,5	0,5
30Б1	1244,8 / 299,0	474,2 / 104,4	34,5 / 49,8	13,1 / 17,4	8,6	3,2	3,8	1,4	2,1	0,8
30Б2	1339,5 / 511,8	489,9 / 167,2	37,2 / 85,3	13,6 / 27,8	9,3	3,4	4,1	1,5	2,3	0,8
35Б1	1973,7 / 548,6	729,9 / 177,9	54,8 / 91,4	20,2 / 29,6	13,7	5,0	6,0	2,2	3,4	1,2
35Б2	2368,9 / 585,0	830,0 / 167,6	65,8 / 97,5	23,0 / 27,9	16,4	5,7	7,3	2,5	4,1	1,4
40Б1	3460,8 / 670,3	1208,3 / 190,4	96,1 / 111,7	33,5 / 31,7	24,0	8,3	10,6	3,7	6,0	2,1
40Б2	5201,9 / 1177,8	1355,8 / 305,6	144,5 / 196,3	37,6 / 50,9	36,1	9,4	16,0	4,1	9,0	2,3
45Б1	5233,6 / 1225,5	1418,8 / 329,9	145,3 / 204,2	39,4 / 54,9	36,3	9,8	16,1	4,3	9,0	2,4
45Б2	6927,3 / 1587,7	1747,2 / 388,9	192,4 / 264,3	48,5 / 64,8	48,1	12,1	21,3	5,3	12,0	3,0
50Б1	6230,7 / 1513,4	1666,8 / 402,0	173,0 / 252,2	46,3 / 67	43,2	11,5	19,2	5,1	10,8	2,8
50Б2	7708,4 / 1691,2	1966,7 / 432,6	214,1 / 281,8	54,6 / 72,1	53,5	13,6	23,7	6,0	13,3	3,4
50Б3	9873,2 / 2200,9	2368,6 / 573,2	274,2 / 366,8	65,8 / 95,5	68,5	16,4	30,4	7,3	17,1	4,1
55Б1	9555,5 / 2077,8	2410,2 / 538,0	265,4 / 346,3	66,9 / 89,6	66,3	16,7	29,4	7,4	16,5	4,1

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
55Б2	10 696,6 / 2467,4	2697,9 / 640,2	297,1 / 411,2	74,9 / 106,7	74,2	18,7	33,0	8,3	18,5	4,6
60Б1	10 984,3 / 2369,5	2734,0 / 615,6	305,1 / 394,9	75,9 / 102,6	76,2	18,9	33,	8,4	19,0	4,7
60Б2	13 753,2 / 2977,4	3256,6 / 768,5	382,0 / 496,2	90,4 / 128,0	95,5	22,6	42,4	10,0	23,8	5,6
70Б0	17 273,6 / 3561,9	4112,6 / 921,6	479,8 / 593,6	114,2 / 153,6	119,9	28,5	53,3	12,6	29,9	7,1
70 Б1	20 014,7 / 3819,6	4662,4 / 990,0	555,9 / 636,6	129,5 / 165,0	138,9	32,3	61,7	14,3	34,7	8,0
70 Б2	25 603,8 / 4595,2	5704,3 / 1171,0	711,2 / 765,8	158,4 / 195,1	177,8	39,6	79,0	17,6	44,4	9,9
Широкополочные двутавры										
20Ш1	874,8 / 375,1	312,3 / 111,8	24,3 / 62,5	8,6 / 18,6	6,0	2,1	2,7	0,9	1,5	0,5
25Ш1	1648,9 / 662,1	558,4 / 177,1	45,8 / 110,3	15,5 / 29,5	11,4	3,8	5,0	1,7	2,8	0,9
30Ш1	2695,6 / 982,8	898,5 / 245,1	74,8 / 163,8	24,9 / 40,8	18,7	6,2	8,3	2,7	4,6	1,5
30Ш2	3753,9 / 1395,6	1221,7 / 360,9	104,2 / 232,0	33,9 / 60,1	26,0	8,4	11,5	3,7	6,5	2,1
35Ш1	3883,5 / 782,5	1294,4 / 200,6	107,8 / 130,4	35,9 / 33,4	26,9	8,9	11,9	4	6,7	2,2
35Ш2	5013,1 / 1121,2	1631,3 / 290,6	139,2 / 186,8	45,3 / 48,4	34,8	11,3	15,4	5,0	8,7	2,8
40Ш1	6723,5 / 1270,4	2198,4 / 329,3	186,7 / 211,7	61,0 / 54,8	46,6	15,2	20,7	6,7	11,6	3,8
40Ш2	9466,2 / 1700,2	3003,8 / 430,3	262,9 / 283,3	83,4 / 71,7	65,7	20,8	29,2	9,2	16,4	5,2
45Ш1	11 636,4 / 3156,0	3631,3 / 766,4	323,2 / 526,0	100,8 / 127,7	80,8	25,2	35,9	11,2	20,2	6,3
50Ш1	11 583,0 / 2134,5	3715,8 / 547,0	321,7 / 355,7	103,2 / 91,1	80,4	25,8	35,7	11,4	20,1	6,4
50Ш2	13 996,8 / 4626,5	4266,5 / 1116,1	388,8 / 771,0	118,5 / 186,0	97,2	29,6	43,2	13,1	24,3	7,4
50Ш3	16 254,4 / 5180,5	4691,2 / 1182,8	451,5 / 863,4	130,3 / 197,1	112,8	32,5	50,1	14,4	28,2	8,1
50Ш4	19 530,8 / 5973,5	5404,4 / 1313,0	542,5 / 995,5	150,1 / 218,8	135,6	37,5	60,2	16,6	33,9	9,3
60Ш1	15 308,1 / 4061,1	4882,5 / 1029,4	425,2 / 676,8	135,6 / 171,5	106,3	33,9	47,2	15,0	26,5	8,4
60Ш2	20 201,2 / 6189,7	5939,2 / 1431,9	561,1 / 1031,6	164,9 / 238,6	140,2	41,2	62,3	18,3	35,0	10,3
60Ш3	25 952,6 / 7725,1	7162,5 / 1698,3	720,9 / 1287,5	198,9 / 283,0	180,2	49,7	80,1	22,1	45,0	12,4
60Ш4	31 971,5 / 9332,1	8612,1 / 2062,9	888,1 / 1555,3	239,2 / 343,8	222,0	59,8	98,6	26,5	55,5	14,9
70Ш1	33 689,9 / 5554,1	7100,8 / 1368,7	935,8 / 925,6	197,2 / 228,1	233,9	49,3	103,9	21,9	58,4	12,3
70Ш2	40 805,1 / 6818,4	7894,0 / 1576,7	1133,4 / 1136,4	219,2 / 262,7	283,3	54,8	125,9	24,3	70,8	13,7
70Ш3	55 568,6 / 9157,1	9701,4 / 2006,6	1543,5 / 1526,1	269,4 / 334,4	385,8	67,3	171,5	29,9	96,4	16,8
70Ш4	69 030,7 / 11274,	11 642,8 / 2505,5	1917,5 / 1879,1	323,4 / 417,5	479,3	80,8	213,0	35,9	119,8	20,2
80Ш1	32 352,0 / 5640,4	7159,0 / 1437,0	898,6 / 940,0	198,8 / 239,5	224,6	49,7	99,8	22,1	56,1	12,4
80Ш2	42 448,9 / 6601,7	8689,9 / 1592,2	1179,1 / 1100,2	241,3 / 265,3	294,7	60,3	131,0	26,8	73,7	15,0
90Ш1	43 588,1 / 7462,09	9325,4 / 1860,0	1210,7 / 1243,6	259,0 / 310,0	302,7	64,7	134,5	28,7	75,6	16,1
90Ш2	47 792,3 /	10 224,9 /	1327,5 /	284,0 / 316,6	331,8	71,0	147,5	31,5	82,9	17,7

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, t , мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
	7978,8	1899,7	1329,8							
100Ш1	59 891,5 / 9188,2	12 224,6 / 2213,5	1663,6 / 1531,3	339,5 / 368,9	415,9	84,8	184,8	37,7	103,9	21,2
100Ш2	75 849,9 / 10 825,8	14 341,7 / 2480,9	2106,9 / 1804,3	398,3 / 413,4	526,7	99,6	234,1	44,2	131,6	24,9
100Ш3	92 487,0 / 12 330,6	16 536,0 / 2721,2	2569,0 / 2055,1	459,3 / 453,5	642,2	114,8	285,4	51,0	160,5	28,7
100Ш4	110 008,3 / 14 278,4	18 818,8 / 3126,7	1936,6 / 2379,7	442,0 / 521,1	484,1	110,5	215,1	49,1	121,0	27,6

Примечание. * В ячейках таблицы, где указано только одно значение, приведена предельная нагрузка на погонный метр стальной балки при пожаре в момент времени t , рассчитанная исходя из условия обеспечения огнестойкости при действии изгибающего момента.

В некоторых ячейках значения предельной нагрузки менее собственного веса балки, их следует применять только для интерполяции.

Заключение

Предложен критерий подтверждения огнестойкости стальных балок без огнезащиты, заключающийся в сравнении расчетной нагрузки с критическим значением предельной нагрузки (на погонный метр балки при пожаре в момент времени t).

Для определения предельной нагрузки на метр погонный балки при пожаре в момент времени t были решены следующие задачи:

1) для сортамента прокатных профилей – двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93 из сталей марок С245, С255, С285, С345 – определен нагрев расчетного сечения стальных балок на 15-й и 30-й минуте стандартного огневого воздействия;

2) на основании полученных температур определен коэффициент снижения предела текучести стали;

3) получено расчетное сопротивление поперечного сечения изгибающему моменту и усилию сдвига при равномерном распределении температуры стальных балок;

4) для шарнирно опертых стальных балок определены предельные значения нагрузки на метр погонный балки, при которых ее огнестойкость будет составлять 15 и 30 мин при стандартном огневом воздействии.

Результаты расчетов представлены в виде таблицы и позволяют оценить огнестойкость защищенных от потери устойчивости стальных балок, несущая способность которых определяется только по критерию прочности. Представленные табличные данные распространяются на раскрепленные балки: двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93 из сталей марок С245, С255, С285, С345 с равномерно распределенной по длине нагрузкой при равномерном распределении температуры по сечению балки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ройтман, В.М. Физический смысл и оценка коэффициента условий работы и критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара / В.М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 5. – С. 14–21.
2. Жамойдик, С.М. Методология оценки огнестойкости стальных колонн с конструктивной огнезащитой, расположенных по периметру помещения / С.М. Жамойдик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2 (24). – С. 39–51.
3. Ватихова, Л. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2015 / Л. Ватихова, К. Калафат. – Киев: Украинский центр стального строительства, 2015. – 121 с.

4. Звездов, А.И. Пособие по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты / А.И. Звездов [и др.] – Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2013. – 45 с. (Справочный материал) <https://docs.cntd.ru/document/1200114463>.
5. Бессонов, Н.М. Расчетный метод определения пределов огнестойкости металлоконструкций, покрытых огнезащитным вспучивающимся составом / Н.М. Бессонов [и др.] // *Пожарная безопасность*. – 2007. – № 1. – С. 89–96.
6. Ботян, С.С. Прогрев стержневых стальных конструкций с частичной и полной огнезащитой наружной поверхности при огневом воздействии / С.С. Ботян [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 20–31. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.20.
7. Басакович, И.А. Огнезащитная эффективность гипсовых плит KNAUF FIREBOARD для вертикальных стальных профилей различного сортамента / И.А. Басакович [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 268–282. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268.

**Табличные данные для оценки огнестойкости
изгибаемых стальных балок без огнезащиты**
**Tabular data for estimating the fire resistance of bendable steel beams
without fire protection**

Жамойдик Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

Sergey M. Zhamoydik

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus», Chair
of Fire Safety, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

Шкараденюк Кристина Васильевна

Борисовский горрайотдел по чрезвычайным
ситуациям учреждения «Минское областное
управление МЧС», сектор надзора
и профилактики, главный специалист

Адрес: ул. Гагарина, 113,
222511, г. Борисов, Беларусь,
Email: oops_kristinka@mail.ru

Kristina V. Shkaradenok

Minsk Regional Department of the Ministry
of Emergency Situations of Republic of Belarus,
Borisov City Department of Emergency Situations,
Supervision and Prevention Sector,
Chief Specialist

Address: Gagarina str., 113,
222511, Borisov, Belarus
Email: oops_kristinka@mail.ru

Лященко Сергей Фидельевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
техносферной безопасности, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: lyashchenkosergei51@gmail.com

Sergey F. Lyashchenko

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: lyashchenkosergei51@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.58>

TABULAR DATA FOR ESTIMATING THE FIRE RESISTANCE OF BENDABLE STEEL BEAMS WITHOUT FIRE PROTECTION

Zhamoydik S.M., Shkaradenok K.V., Lyashchenko S.F.

Purpose. The development of tabular data for estimating the fire resistance of bendable steel beams, taking into account the given level of loading.

Methods. The analytical solution of thermal and static problems of fire resistance of bendable steel structures.

Findings. For the range of steel W shaped I-beams (normal and wide flange according to STO ASCHM 20-93) from steel grades S245, S255, S285, S345 load limits are determined (depending on the span, section class and working conditions of the structure) at which the beam can be used in a building without fire protection, providing fire resistance of 15 and 30 minutes. Based on the calculations, tabular data were developed to assess the fire resistance of steel beams without fire protection.

Application field of research. The results obtained can be used to solve the problems of fire resistance of bendable steel beams, taking into account the load while designing and constructing buildings and structures.

Keywords: unprotected steel structures, limit load, yield strength, load.

(The date of submitting: January 6, 2022)

REFERENCES

1. Roytman V.M. Fizicheskiy smysl i otsenka koeffitsienta usloviy raboty i kriticheskoy temperatury progreva materialov konstruksiy v usloviyakh pozhara [The physical meaning and evaluation of the coefficient of working conditions and the critical temperature of heating of structural materials in fire conditions]. *Fire and Explosion Safety*, 2011. Vol. 20, No. 5. Pp. 14–21. (rus)
2. Zhamoydik S.M. Metodologiya otsenki ognestoykosti stal'nykh kolonn s konstruktivnoy ognezashchitoy, raspolozhennykh po perimetru pomeshcheniya [Methodology of fire resistance evaluation of steel columns with fire structural protection, located on the perimeter of the premises]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 2 (24). Pp. 39–51. (rus)
3. Vatikhova L., Kalafat K. *Katalog sredstv ognezashchity stal'nykh konstruksiy 2015* [Catalog of means of fire protection of steel structures 2015]. Kiev: Ukrainian Steel Construction Center, 2015. 117 p. (rus)
4. Zvezdov A.I., et al. *Posobie po opredeleniyu predelov ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy, parametrov pozharney opasnosti materialov. Poryadok proektirovaniya ognezashchity* [Manual for determining the fire resistance limits of building structures, parameters of fire hazard of materials. Design procedure for fire protection]. Moscow: Research Center Construction, 2013. 45 p. (rus)
5. Bessonov N.M., Eremina T.Yu., Dmitrieva Yu.N., Krashennikova M.V. Raschetnyy metod opredeleniya predelov ognestoykosti metallokonstruksiy, pokrytykh ognezashchitnym vspuchivayushchimsya sostavom [Calculation method for determining the limits of fire resistance of metal structures coated with a flame retardant swelling compound]. *Fire Safety*, 2007. No. 1. Pp. 89–96. (rus)
6. Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Olesiyuk N.M. Progrev sterzhnevyykh stal'nykh konstruksiy s chastichnoy i polnoy ognezashchitoy naruzhnoy poverkhnosti pri ognevom vozdeystvii [Heating of rod steel structures with partial and full fire-protected external surface under fire exposure]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 20–31. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.20.
7. Basakovich I.A., Batyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Osyayev V.A., Polevoda I.I. Ogneshchitnaya effektivnost' gipsovykh plit KNAUF FIREBOARD dlya vertikal'nykh stal'nykh profily razlichnogo sortamenta [Knauf Fireboard fire protection efficiency for vertical steel profiles of various cross section shapes]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol 3, No. 3. Pp. 268–282. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268.