

УДК 614.841.45

## ОЦЕНКА ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ОГНЕСТОЙКОСТИ

Кудряшов В.А., к.т.н., доцент, Жикунова Т.В.  
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: vadmud@gmail.com

*Согласно действующим техническим нормативным правовым актам, требуемые пределы огнестойкости конструкций в жилых и общественных зданиях не зависят от количества пожарной нагрузки в помещении, а определяются степенью огнестойкости здания, зависящей преимущественно от этажности и площади здания (пожарного отсека). С другой стороны, действительная огнестойкость конструкций является функцией мощности возможного пожара в помещении, поэтому взаимосвязь степени огнестойкости и требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций требует тщательного изучения. Это является актуальной задачей в связи с намечившимся переходом на гибкое нормирование, когда здание проектируется с учетом реальных воздействий.*

*According to the applicable technical regulations the required structural fire resistance for residential and public buildings doesn't depend on the value of the fire load in the compartment. It is mostly related with building fire resistance rate, which depends mainly on the number of floors and the building area (fire compartment). The actual structural fire power is the function of a possible fire in the compartment, so the relationship between building fire resistance rate and structural fire resistance requires careful study. It is an urgent task because today the technical regulations are turning to the real impacts designing.*

(Поступила в редакцию 31 июля 2013 г.)

Одним из важнейших элементов обеспечения пожарной безопасности зданий является огнестойкость строительных конструкций – их способность выполнять несущие и ограждающие функции при пожаре [1]. На практике огнестойкость принято выражать пределом по времени стандартного пожара и разделять на фактическую и требуемую. Фактический предел огнестойкости – это время, полученное в условиях стандартных испытаний либо по расчету. Фактический предел огнестойкости должен быть не менее требуемого, определяемого как время, необходимое для обеспечения эвакуации людей и материальных ценностей, а также работы пожарных аварийно-спасательных подразделений. В ряде случаев требуемый предел огнестойкости призван обеспечить огнесохранность конструкций на всю длительность возможного пожара.

В соответствии с ТКП 45-2.02-142 [2], требуемые пределы огнестойкости конструкций в жилых и общественных зданиях определяются исходя из значения степени огнестойкости здания, которая в свою очередь согласно ТКП 45-2.02-34 [3] определяется в основном этажностью и площадью здания. Это указывает на то, что требуемые пределы огнестойкости в соответствии с техническими нормативными правовыми актами [2, 3] напрямую не зависят от фактической пожарной нагрузки в помещениях.

Как было отмечено выше, предел огнестойкости конструкций является функцией во времени стандартного пожара. В качестве стандартного пожара согласно ГОСТ 30247.0 и ISO 834 [4, 5] принята температурно-временная зависимость, выражаемая формулой:

$$T = T_0 + 345 \lg(8\tau + 1), \quad (1)$$

где  $T$  – температура пожара, соответствующая времени  $\tau$ , °С;  $T_0$  – температура до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °С;  $\tau$  – время, исчисляемое от начала пожара, мин.

При всей простоте математического описания (1), стандартный пожар является универсальной единицей измерения нестационарного огневого воздействия. Теоретически, разрушение практически любой конструкции при пожаре происходит ввиду нагрева ее конструктивных составляющих до определенной температуры. Если принять стандартный пожар в качестве наихудшего возможного, то через строго заданную функциональную зависимость интенсивности теплового воздействия на конструкцию (стандартный пожар), можно выразить практически любое реальное воздействие пожара.

Однако реальное воздействие пожара представляет собой сложный физико-химический процесс, описание которого требует серьезного физико-математического аппарата [6]. Для типового пожара, как правило, выделяют пять основных стадий развития. На первой стадии пламя, возникшее от постороннего источника зажигания, медленно распространяется по поверхности горючего материала. Интенсивность выделения продуктов пиролиза твердых горючих материалов постепенно повышается. На втором этапе развития пожара начинается более интенсивный прогрев поверхностных слоев ограждающих конструкций. На третьем этапе пожара наблюдается повышение среднеобъемной температуры до 250...300 °С и, если объем помещения не большой, пламя заполняет практически весь объем помещения, а процесс распространения пламени происходит уже не по поверхности твердых горючих материалов, а дистанционно, через разрывы пожарной нагрузки. В этот момент происходит интенсивный прогрев конструкций и их теплообмен с очагом пожара. Последняя стадия пожара характеризуется снижением интенсивности, так как основная часть пожарной нагрузки уже выгорела [6, 7].

Продолжительность отдельной стадии пожара, характер развития и распределения температур в помещении зависят от условий газообмена, качественных и количественных характеристик удельной пожарной нагрузки, конструктивных и объемно-планировочных решений. Кроме того, пожар – событие во многом вероятностное и для одного и того же помещения пожар может быть совершенно разным. Поэтому существует неопределенность и сложность в оценке требуемых пределов огнестойкости исходя из реального и, соответственно, стандартного огневого воздействия.

Следует отметить, что применение стандартного пожара при оценке требуемых пределов огнестойкости встречается еще в нормативных документах 50-х годов XX века [8]. Однако ввиду недостаточных знаний о динамике прогрева конструкций при реальном и стандартном пожаре, требуемые пределы огнестойкости для типовых зданий достигали значения в 4 часа стандартного огневого воздействия. В современных документах требуемые пределы огнестойкости для типовых зданий достигают значений в 2 часа стандартного огневого воздействия, при этом подходы к их оценке огнестойкости остались прежними [2, 8].

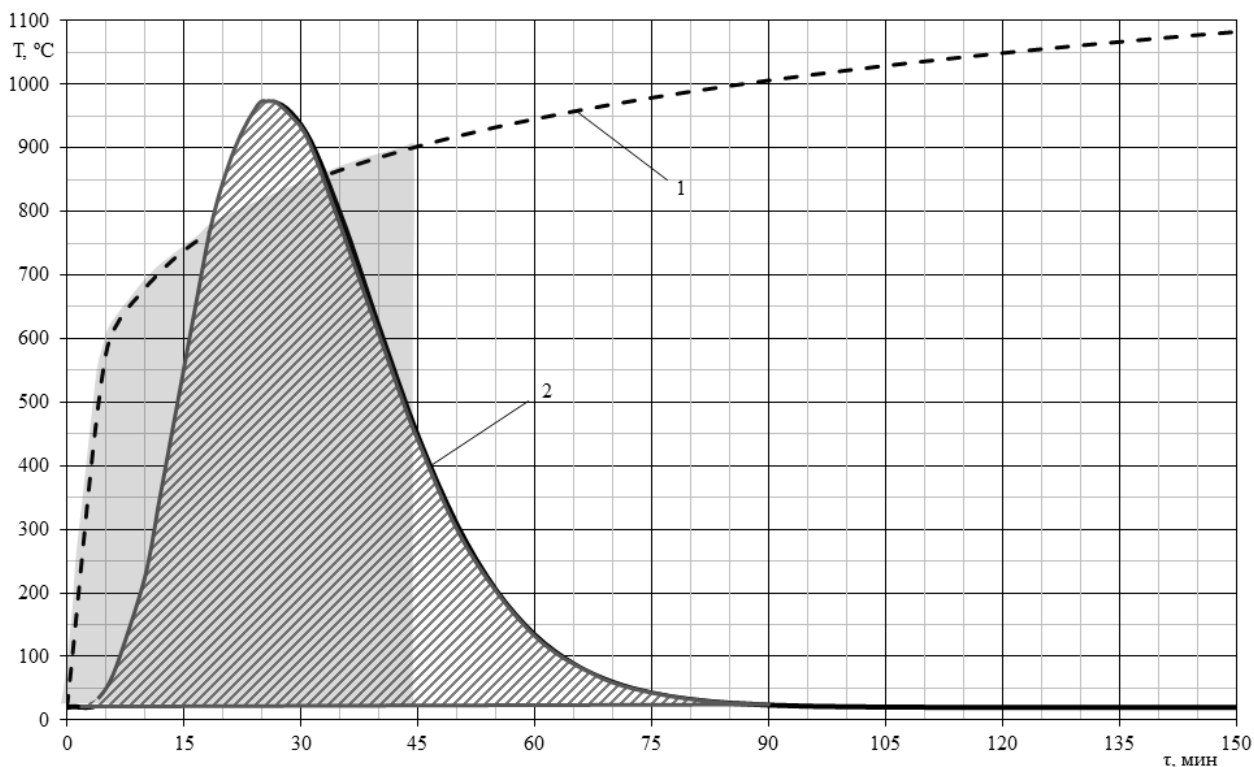
К настоящему времени разработано множество подходов к упрощенной аналитической оценке динамики пожаров [9-11], которые могут быть использованы в оценке требуемых пределов огнестойкости. Существуют также и альтернативные, вероятностные методики, основанные на оптимизационных экономических математических моделях [12].

Методы, основанные на упрощенной аналитической оценке динамики пожаров, как правило, интегральные, и могут быть использованы для обеспечения огнестойкости конструкций на всю продолжительность пожара. В основу вероятностных методик положены параметры, устанавливаемые исходя из условия минимизации затрат на огнестойкость и ожидаемых потерь от пожаров. Очевидно, что наиболее рациональное решение может быть получено комбинацией двух указанных способов.

Важной задачей в процессе оценке требуемых пределов огнестойкости исходя из фундаментальных требований технических нормативных правовых актов [1-5] является определение эквивалентной продолжительности стандартного пожара. Наиболее простым способом решения указанной задачи является «гипотеза равных площадей», предложенная М.Я. Ройтманом [11], при котором принимается, что два пожара считаются эквивалентными, если площади под кривыми зависимости температуры от времени этих двух пожаров будут

равны. Следует отметить, что применение «гипотезы равных площадей» имеет смысл только для реальных пожаров, температурно-временная кривая которых ниже стандартной температурной кривой.

На основе вышеизложенного, исходя из принципа обеспечения огнестойкости конструкций на всю продолжительность пожара и «гипотезы равных площадей», авторами определены требуемые пределы огнестойкости для конструкций общественных зданий с типовым помещением с размерами 6,0x4,0 м в плане, высотой 3,0 м, с дверным и оконным проемом. Пожарная нагрузка в типовом помещении для расчета была принята в соответствии с СТБ 2129 [13] равной 511 МДж/м<sup>2</sup>, расчет произведен как для пожара, регулируемого вентиляцией в соответствии с СТБ 11.05.03 [9]. Результаты расчета в сопоставлении со стандартной кривой приведены на рис. 1.



1 – стандартный пожар по ГОСТ 30247 [4]; 2 – среднеобъемная температура по СТБ 11.05.03 [9]

**Рисунок 1 – Определение эквивалентной продолжительности стандартного пожара для типового офисного помещения**

Из рис. 1 следует, что параметрическому пожару по СТБ 11.05.03 [9] общей продолжительностью не более 90 минут соответствует стандартный пожар длительностью 45 минут. Понимая, что указанное офисное помещение может встречаться в зданиях любой степени огнестойкости по ТКП 45-2.02.-34 [3], требуемые пределы огнестойкости для основных конструкций здания в соответствии с таблицей 4 ТКП 45-2.02.-142 [2] являются либо завышенными, либо заниженными. Принимая эквивалентную длительность стандартного пожара за единицу, указанная таблица может быть выражена в виде коэффициента запаса огнестойкости, представляющего собой отношение требуемого предела огнестойкости к эквивалентной длительности стандартного пожара (см. таблицу 1).

Из таблицы 1 следует, что наиболее оптимальное значение требуемых пределов огнестойкости для рассматриваемого типа помещений с точки зрения обеспечения огнестойкости конструкций на всю продолжительность пожара соответствует IV-V степени огнестойкости. Для I-III степени огнестойкости коэффициент запаса огнестойкости для основных несущих конструкций достигает значения 2,67. Для VI-VIII степени

огнестойкости, а также для элементов бесчердачных покрытий всех степеней огнестойкости коэффициент запаса огнестойкости для основных несущих конструкций менее 1,0 – это говорит о возможном обрушении конструкций в таких зданиях при пожаре.

Таблица 1 – Значения коэффициента огнестойкости

Степень огнестойкости	Несущие элементы здания	Само-несущие стены	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
					Настилы	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
<b>I</b>	<b>2,67</b>	<b>2,00</b>	<b>1,33</b>	<b>2,00</b>	0,67	0,67	<b>2,67</b>	<b>1,33</b>
<b>II</b>	<b>2,67</b>	<b>1,33</b>	0,67	<b>1,33</b>	0,67	0,67	<b>2,67</b>	<b>1,33</b>
<b>III</b>	<b>2,00</b>	<b>1,33</b>	0,67	<b>1,33</b>	0,67	0,67	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>
<b>IV</b>	<b>1,33</b>	<b>1,00</b>	0,67	<b>1,00</b>	0,33	0,33	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>
<b>V</b>	<b>1,00</b>	0,67	0,33	<b>1,00</b>	0,33	0,33	<b>1,33</b>	<b>1,00</b>
<b>VI</b>	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	<b>1,00</b>	0,67
<b>VII</b>	0,33	0,33	0,33	0,33	н/о	н/о	0,67	0,33
<b>VIII</b>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о

Примечание: н/о – значение коэффициента не определено, т.к. огнестойкость не нормируется.

Очевидно, что офисные здания VI-VIII степени огнестойкости представляют собой небольшие здания до 4 этажей площадью не более 3000 м<sup>2</sup> [3]. Расходы на огнезащитные мероприятия таких зданий могут достигать стоимости самих зданий, поэтому к их конструкциям предъявляются пониженные требования к пределам огнестойкости, позволяющим обеспечить безопасную эвакуацию людей при пожаре и осуществить мероприятия по его тушению. В зданиях большей площади и этажности время, необходимое на эвакуацию людей и поиск возможного источника возгорания пожарными подразделениями существенно возрастает – это требует обеспечения огнесохранности всего здания при возможном пожаре. Кроме того, многократно увеличивается возможный ущерб при пожаре, как социальный, так и материальный, соотношение стоимости поврежденного имущества при пожаре несоизмеримо со стоимостью всего здания в целом. Перечисленные предположения во многом подтверждает статистика пожаров, свидетельствующая, что обрушения при пожаре происходят в основном в зданиях VI-VIII степеней огнестойкости.

Пониженные требования огнестойкости к элементам бесчердачных покрытий во многом обусловлены легкостью их конструктивных решений – обрушение таких конструкций редко вызывает обрушение здания в целом, хотя представляет определенную опасность при эвакуации людей и тушении пожара.

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что запас безопасности/надежности в диапазоне 1,5...2,0 является широко принятым в инженерной практике. Это говорит о достаточно удачном сочетании требуемых пределов огнестойкости и показателей степени огнестойкости для офисных зданий. Завышенные (более 2,0) коэффициенты запаса, приведенные в таблице 1, обусловлены универсальностью требуемых пределов огнестойкости для любых типов зданий и значений пожарной нагрузки.

Анализ развития технических нормативных правовых актов в области требуемых пределов огнестойкости от Н 102-54 [8] до ТКП 45-2.02.-142 [2], а также других многочисленных источников показал, что значения требуемых пределов огнестойкости назначались вероятнее всего эмпирически, – требуемые значения пределов огнестойкости постепенно снижались, подтверждаясь с годами данными пожарной статистики.

В настоящее время, при значительном развитии инженерных расчетных методов, наблюдается постепенный переход от универсальных нормативных требований, единых для

всех типов зданий, к индивидуальным, учитывающим индивидуальные особенности каждого здания – так называемое «гибкое нормирование».

Учитывая вышеизложенное, авторам разработан алгоритм к определению требуемых пределов огнестойкости зданий различного назначения. Схема, представленная на рис. 2, основана на поиске минимума затрат при безусловном обеспечении безопасности людей. Для каждого здания определяются дополнительные затраты на огнезащиту конструкций и возможный экономический ущерб. при этом должны быть разработаны как минимум два варианта. Первый вариант допускает обрушение конструкций и всего здания в целом при пожаре, но требуемые пределы огнестойкости должны быть не менее времени (с точки зрения реального пожара), необходимого для эвакуации и тушения пожара ( $t_{ЭВ}$ ). Второй вариант призван обеспечить огнестойкость конструкций на всю длительность пожара ( $t_{дл}$ ). При этом, в зависимости от типа строительных конструкций, возможны различные варианты поиска эквивалентной продолжительности стандартного пожара, в том числе и с использованием критической температуры на элементах строительных конструкций.

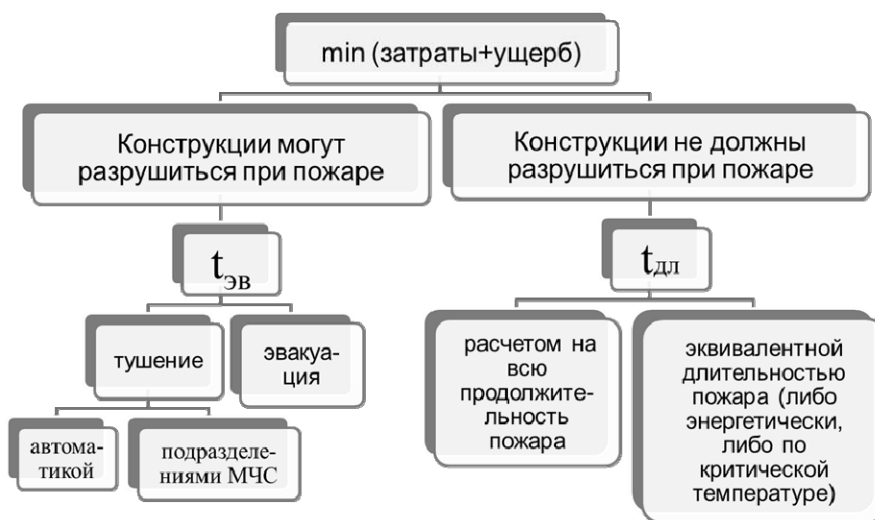


Рисунок 2 – Алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости конструкций

Предложенный алгоритм позволит оптимизировать расходы на обеспечение пожарной безопасности зданий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стандартный пожар является универсальной единицей измерения нестационарного огневого воздействия. Если принять стандартный пожар в качестве наихудшего возможного, то через строго заданную функциональную зависимость интенсивности теплового воздействия на конструкцию (стандартный пожар), можно выразить практически любое реальное воздействие пожара.

Методы, основанные на упрощенной аналитической оценке динамики пожаров, как правило, интегральные, и могут быть использованы для обеспечения огнестойкости конструкций на всю продолжительность пожара и, соответственно, оценке требуемых пределов огнестойкости.

На основании расчета типового офисного помещения получено, что наиболее оптимальное значение требуемых пределов огнестойкости с точки зрения обеспечения огнестойкости конструкций на всю продолжительность пожара соответствует IV-V степени огнестойкости. Для I-III степени огнестойкости коэффициент запаса огнестойкости для основных несущих конструкций достигает значения 2,67. Для VI-VIII степени огнестойкости, а также для элементов бесчердачных покрытий всех степеней огнестойкости

коэффициент запаса огнестойкости для основных несущих конструкций менее 1,0 – это говорит о возможном обрушении конструкций в таких зданиях при пожаре.

Предложен алгоритм к определению требуемых пределов огнестойкости зданий различного назначения, основанный на поиске минимума затрат при безусловном обеспечении безопасности людей, позволяющий допустить возможность обрушения конструкций здания при пожаре и, соответственно, сократить расходы на обеспечение пожарной безопасности зданий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 11.0.03-95. Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения. – Введ. 01.07.2001. – Минск: Белстандарт, 2001. – 18 с.
2. ТКП 45-2.02.-142-2011 (02250). Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации. – Взамен СНБ 2.02.01-98\*. – Введ. 14.06.2011. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2011. – 17 с.
3. ТКП 45-2.02.-34-2006 (02250). Здания и сооружения. Отсеки пожарные. Нормы проектирования. – Введ. 20.04.2006. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2006. – 19 с.
4. Межгосударственный стандарт. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Введ. 01.10.1998. – Минск: Минсктиппроект, 1998. – 12 с.
5. International Organization for Standardization. Fire-resistance tests. Elements of building construction. Part I. General requirements: ISO 834-1:1999(E) – Implemented 15.09.1999. – Geneva: ISO, 1999. – 25 p.
6. Абдурагимов, И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / Говоров В.Ю., Макаров В.Е. – Москва: Производственно-издательский комбинат ВИНТИ, 1980. – 253 с.
7. Иванов, Е.Н. Расчет и проектирование систем пожарной защиты. – Москва: Издательство «Химия», 1977. – 376 с.
8. Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест. Н 102-54. – Введ. 01.01.1955. – Киров: Гос. комитет СССР по делам строительства, 1955. – 62 с.
9. Государственный стандарт Республики Беларусь. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ 11.05.03-2010. – Введ. 28.04.2010. – Минск: Госстандарт, 2010 – 76 с.
10. ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250). Воздействия на конструкции. Введ. 10.12.2009. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2009. – 48 с.
11. Ройтман, М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле : учебник / М.Я. ройтман. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1975. – 525 с.
12. Присадков, В.И. Методы расчета требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций / В.И. Присадков, В.С. Абрамов // Огнестойкость строительных конструкций и обеспечение пожарной безопасности людей и материальных ценностей: сб. науч. трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 149-153.
13. СТБ 2129-2010. Государственный стандарт Республики Беларусь. Здания и сооружения. Порядок определения пожарной нагрузки. – Введ. 01.01.2011. – Минск: Госстандарт, 2011. – 26 с.
14. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.