

*И.Н. Удянский, канд. техн. наук, зам. нач. кафедры, УГЗУ,
С.Ю. Рагимов, ГУ МЧС Украины в Харьковской обл*

МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ СОХРАНЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГНЕЗАЩИЩЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОЖАРЕ

(представлено д-ром техн. наук Л.Н. Лариным)

Разработан графоаналитический метод расчета момента времени, когда достигается предел огнестойкости для балки двутаврового сечения и стальной пластины. Метод создан на основе последовательного решения задачи о взаимодействии элементов системы «Пожар – вспучивающееся огнезащитное покрытие – металлическая конструкция».

Постановка проблемы. Безопасность эвакуации людей проведения аварийно-спасательных работ личным составом подразделений гражданской защиты и других спасательных формирований при пожарах в зданиях с несущими металлическими конструкциями будет обусловлена временем сохранения их несущей способности.

Для определения предела огнестойкости строительных конструкций в лабораторных условиях существуют установленные стандарты, действующими на территории Украины, метод испытаний на огнестойкость. В условиях реального пожара, когда требуется принятие управленческого решения в кратчайшее время или же на практике, когда реальная конструкция отличается от испытанной при стандартном температурном режиме в огневой печи, допускается применение расчетных методов определения предела огнестойкости конструктивных элементов зданий и сооружений [1]. Расчетная методика должна дополняться графоаналитическим способом для использования ее при проведении аварийно-спасательных работ.

Анализ последних достижений и публикаций. При огнезащитной обработке металлических конструкций повышается их фактический предел огнестойкости, то есть увеличивается продолжительность времени сохранения несущей способности в условиях пожара.

Фактический предел огнестойкости незащищенных металлических конструкций принято считать равным 0,25 часа. Требуемый предел огнестойкости основных строительных конструкций, в том числе и металлических, составляет, в зависимости от степени огнестойкости зданий, от R15 до R150 [1], т.е. от 15 минут до 150 минут по предельному состоянию – потеря несущей способности.

Предел огнестойкости металлических конструкций зависит от типа конструкции, статических схем, величины и характера приложения нагрузки, вида и марки металла, приведенной толщины элементов конструкций, определяемой по соотношению площади их поперечного сечения и обогреваемой части периметра сечения.

Задача огнезащиты металлических конструкций заключается в создании на поверхности элементов конструкций теплоизолирующих экранов, выдерживающих высокие температуры и непосредственное действие огня. Наличие этих экранов позволяет замедлить прогревание металла и сохранять конструкции свои функции при пожаре в течение заданного периода времени.

Современные методы огнезащиты металлических конструкций включают использование: теплоизоляционных штукатурок; огнезащитных покрытий из асбеста или гранулированного минерального волокна, жидкого стекла, цемента и др.; вспучивающихся составов, представляющих сложные системы органических и неорганических компонентов.

Для металлических конструкций с огнезащитным покрытием предельным состоянием по потере несущей способности является превышение средней температуры металлического элемента образца его начальной температуры на $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для стальных конструкций и на $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для конструкций из алюминиевых сплавов с учетом начальной температуры [2].

Принципиальная схема определения предела огнестойкости конструкции по потере несущей способности заключается в следующем: классификации пожаров в помещении; определении вида возможного пожара; определении физических и граничных условий развития пожара в помещении; выборе метода расчета температурного режима и прогрева конструкций при пожаре; переходе от стандартного температурного режима к реальному пожару. Переход от стандартного температурного режима к реальному пожару осуществляется с помощью методов, основанных на независимости критических температур материала от режима пожара, на равенстве тепловых импульсов, воздействующих на конструкцию при различных режимах пожара, и на принципе температурно-временной суперпозиции накопления повреждений в материале. Это дает возможность определять температурные режимы пожара в помещениях и зданиях различного назначения и научно обосновывать требования по огнестойкости конструкций.

При определении параметров взаимодействия элементов системы «Пожар – огнезащитное покрытие – металлическая конструкция» (далее – «П-ВОП-МК») обычно используются феноменологические модели, основанные на уравнениях теплопроводности [3,4].

Существует несколько способов перехода от огнестойкости кон-

струкций в условиях стандартного температурного режима пожара и огнестойкости в условиях реального пожара. Наиболее доступный и достаточно физически обоснованный способ заключается в определении момента достижения в каком-либо элементе конструкции критических температур, определяющих ее огнестойкость.

Несмотря на кажущуюся точность, применение алгоритмов, основанных на решении уравнений газовой динамики, ограничено, а в практической работе пожарной охраны практически невозможно. Указанное обстоятельство связано с тем, что расчеты требуют даже для современных компьютеров неоправданно большого количества машинного времени; кроме того, задание набора входных данных представляет собой самостоятельную (и достаточно трудоемкую) задачу, решение которой требует высокой квалификации в области программирования, теории горения и газовой динамики.

Для получения алгоритмов расчета основных характеристик взаимодействия элементов системы «П-ВОП-МК» следует гармонично сочетать результаты эксперимента и теоретические расчеты.

Постановка задачи и ее решение. В процессе анализа состояния вопроса установлено, что не исследованы процессы поведения огнезащитных вспучивающихся покрытий в комплексе с обработанной ими металлической конструкцией при внешнем высокотемпературном воздействии, не раскрыт механизм их взаимодействия, нет методики позволяющей определять значения параметров, которые влияют на несущую способность металлических конструктивных элементов зданий и сооружений, обработанных огнезащитным вспучивающимся покрытием, при пожаре.

Поэтому целью настоящей работы является раскрытие закономерностей высокотемпературного воздействия на огнезащитные металлические конструкции и установление на основании этого времени сохранения их несущей способности.

Для определения параметров процесса взаимодействия элементов системы «П-ВОП-МК» в условиях пожара следует разработать принципиально иные модели процесса, основанные на результатах обработки экспериментальных данных.

Приводимая ниже модель представляют собой, по сути, гипотезу об изменении температуры на поверхности огнезащитной вспучивающимся покрытием металлической конструкции в условиях пожара.

Введем следующие допущения:

1) огнезащитное вспучивающееся покрытие начинает "работать", когда температура газовой фазы пожара достигает некоторого известного критического значения - $T_{кр}$;

2) после момента, когда температура достигает критического значения, и до полного выгорания вспучивающегося огнезащитного

покрытия изменение температуры на поверхности огнезащитной металлической конструкции является функцией температуры газовой фазы пожара - $T_n(\tau)$. Иными словами, для различных зависимостей $T_n(\tau)$ справедливо уравнение:

$$T_n = f(T_n(\tau)), \quad (1)$$

где T_n - температура на поверхности МК;

3) температура прогрева огнезащитной металлической конструкции во времени зависит от следующих параметров: приведенной толщины - δ ; материала конструкции; вида функции $T_n(\tau)$, состава и толщины нанесенного слоя огнезащитного покрытия.

Приближенно, на основании качественного анализа результатов испытаний, зависимость (1) может быть представлена соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} T_n &= f(T_n(\tau)) - \text{const, если } T_{кр} < T_n < T_n^{**}; \\ T_n &= T_n \text{ если } T_{кр} > T_n, \text{ или } T_n > T_n^{**}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где T_n^{**} - температура газовой фазы пожара после выгорания слоя ВОП на металлической конструкции.

В более общем случае зависимость (1) естественно представить в виде аппроксимированного полинома, коэффициенты которого определяются с помощью обработки экспериментальных данных:

$$T_n^* = T_0 + \sum_{i=1}^l A_i T_n^i, \quad (3)$$

где T_0 - температура на поверхности МК в начальный момент времени, °C; T_n - разница между температурой пожара в помещении и T_n , °C; A_i - коэффициенты полинома.

Коэффициенты A_i , $i = 1, \dots, l$ определяются следующим образом. Пусть выполнено N испытаний, т.е. получен набор значений $T_n(\tau_k)$, $T_n(\tau_k)$, $k = 1, \dots, K$. Построим N функций невязки:

$$F_n(\bar{A}_{in}, i = 1, \dots, l) = \sum_{k=1}^K \left\{ \bar{A}_{1n} T_n(\tau_k) + \bar{A}_{2n} T_n^2(\tau_k) + \dots + \bar{A}_{ln} T_n^l(\tau_k) - (T_{nn}(\tau_k) - T_0) \right\}^2, \quad n = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Функции (4) являются квадратичными полиномами относительно

но своих переменных, поэтому минимум каждой из них определяется однозначно в результате решения системы линейных уравнений методом наименьших квадратов.

Значение $T_{\text{н}}$ полностью определяется формулами:

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{в}} - T_0 &\approx \left(A \frac{2}{3} \frac{T_0}{g} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} H_c \pi V_{\text{п}}^2 \tau^2 \right)^{\frac{2}{3}} \cdot (z - z_0)^{-\frac{5}{3}}; \\ z_0 &= (1,3 - 0,0015 H_c) \cdot (4 V_{\text{п}}^2 \tau^2)^{\frac{1}{2}}; \\ A &= \frac{g}{C_p T_0 \rho_0}. \end{aligned} \right\} (5)$$

Следовательно, температура на поверхности МК зависит, в основном, от следующих параметров: начальной температуры в помещении T_0 , времени τ , удельной теплоты сгорания H_c , скорости распространения пожара $V_{\text{п}}$, высоты помещения H .

Преобразовав зависимость (3) с учетом формул (5), получаем:

$$T_{\text{кр}} - T_0 = \sum_{i=1}^i \bar{A}_i \left\{ \left(\frac{2}{g} A^3 T_0 \right) \left(\frac{H_c \pi V_{\text{п}}^2 \tau^2}{2} \right)^{\frac{2}{3}} 2 V_{\text{п}} \tau (H - (1,3 - 0,015 H_c)) \right\}^i. (6)$$

Уравнение (6) представляет собой неявно заданную функцию вида:

$$\vartheta(\tau, H, H_c, V_{\text{п}}) = 0. (7)$$

Задавшись тремя переменными - H , H_c , $V_{\text{п}}$ и численно решая (7), получаем значения τ .

Для большинства встречающихся в практике веществ удельная теплота сгорания колеблется в пределах $1 \cdot 10^7 \dots 5 \cdot 10^7$ Дж·кг⁻¹ [58]. Построим линии уровня $\tau = \text{const}$ для случаев $H_{c1} = 10^7$ Дж·кг⁻¹, $H_{c2} = 2,5 \cdot 10^7$

Дж·кг⁻¹, $H_{c3} = 5 \cdot 10^7$ Дж·кг⁻¹.

Диапазон изменения высоты помещения примем равным 2-10 м; диапазон изменения скорости распространения пожара - от $1 \cdot 10^{-3}$ м·с⁻¹ до $1 \cdot 10^{-2}$ м·с⁻¹. На основании полученных результатов вычислений построены номограммы для определения момента времени, когда наступает предел огнестойкости плоских металлических конструкций τ , которые приведены на рис. 1.

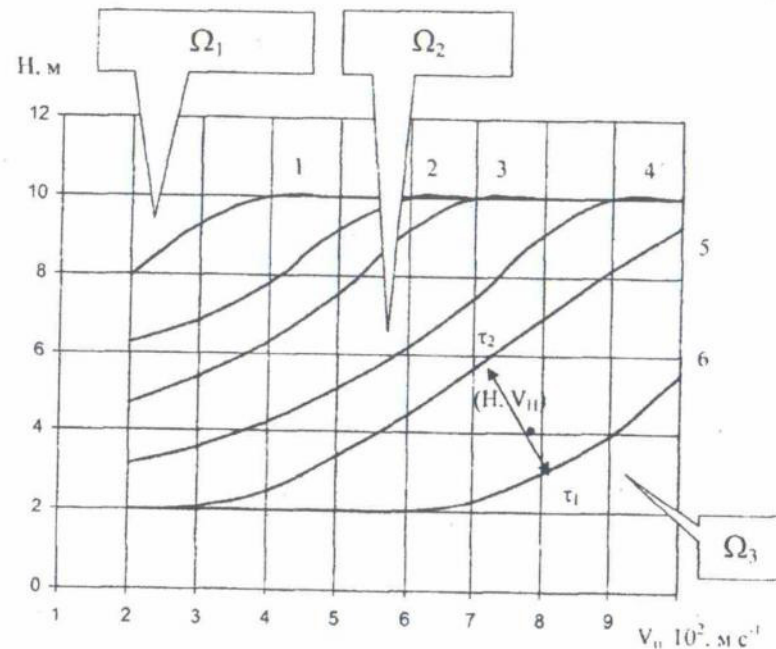


Рисунок 1 – Номограмма для определения предела огнестойкости плоских металлических конструкций при $H_c = 10^7$ Дж·кг⁻¹. Обозначения: 1- $\tau = 55$ мин; 2- $\tau = 50$ мин; 3- $\tau = 45$ мин; 4- $\tau = 40$ мин; 5- $\tau = 35$ мин; 6- $\tau = 30$ мин, Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 – зоны расположения точки с координатами $(V_{\text{п}}; H)$

Порядок работы с номограммой следующий. Необходимо задать высоту помещения H , скорость распространения пожара $V_{\text{п}}$, а затем значение τ .

Точка $(V_{\text{п}}, H)$ может принадлежать одному из множеств (зон) - Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 . (рис. 1). Приведем расчетные формулы для определения τ .

$(V_{\text{п}}, H) \in \Omega_1$: $\tau = \tau_{\text{min}}$ (в номограмме - 30 мин.);

$(V_{\text{п}}, H) \in \Omega_3$: $\tau = \tau_{\text{max}}$ (в номограмме - 55 мин.).

При $(V_{\text{п}}, H) \in \Omega_2$. Обозначим τ_1 и τ_2 значения τ , соответствующие кривым, лежащим по разные стороны от точки $(V_{\text{п}}, H)$. Тогда:

$$\tau = \frac{\tau_1 L_1 + \tau_2 L_2}{L_1 + L_2} \quad (8)$$

Здесь L_1 и L_2 - расстояния между точкой ($V_{нн}$, Н) и кривыми, соответствующими τ_1 и τ_2 .

Выводы. Разработана графоаналитическая методика расчета момента времени, когда достигается предел огнестойкости τ для балки двутаврового сечения и стальной пластины. Методика создана на основе последовательного решения задачи о взаимодействии элементов системы «П-ВОП-МК» для случая, когда металлическая конструкция подвергается воздействию повышенной температуры внутри конвективной колонки, возникающей над очагом пожара в помещении, и позволяет определять значение τ без использования численного расчета взаимодействия элементов системы «П-ВОП-МК».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
- 2 ДСТУ Б В.1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні положення.
- 3 Новак С. В. Расчетно- экспериментальный подход к решению задач оценки огнестойкости и проектирования конструкций // Бюллетень пожарной безопасности.- 1999.- №1.- С. 17- 19.
- 4 Novak S.V. Mathematical simulation of heat transfer processes in heat design problems of fire resistance building construction // Международная конференция "Bezpieczenstwo pożarowe budowl", Warszawa (Poland).- 1997.- P. 1133- 1140.
- 5 Круковский П.Г., Новак С.В., Карташова И.С., Харченко И. А. Тепловой анализ огнестойкости кабельной проходки в условиях пожара // Пожежна безпека.- 1997.- № 4.- С. 24-26.

Статья поступила в редакцию 13.09.2006

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИТІКАННЯ РІДИНИ У РЕЖИМІ «ПОСТРІЛ» З РЕЗЕРВУАРА ІМПУЛЬСНОЇ УСТАНОВКИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

(представлено д-ром техн. наук В.М. Комяк)

У статті описано і математично змодельовано режим роботи автоматичних установок пожежегасіння, призначених для гасіння вибухонебезпечних об'єктів.

Постановка проблеми. Пожежі, що виникають на складах боеприпасів і переростають в надзвичайні ситуації державного рівня, спричиняють колосальні моральні і матеріальні збитки, демонструють недостатню ефективність протипожежних заходів, що проводяться, та існуючих способів гасіння пожеж на даних об'єктах.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. У попередніх роботах авторів [1, 2] розглядалась можливість організації гасіння пожеж на арсеналах та складах вибухових речовин за допомогою автоматичної установки пожежегасіння нового типу та доводилась недоцільність використання класичних видів подібних установок [4, 5].

Постановка задачі. Для створення нової установки необхідно провести гідравлічний розрахунок та вирішити систему рівнянь і загальних співвідношень, які описують витікання рідини з резервуара при розширенні газу.

Нехай газ, стиснутий до тиску $P_{нн}$, що більше атмосферного тиску P_a , займає об'єм $V_{гн}$ у верхній частині резервуара. У нижній частині резервуара міститься рідина, що займає об'єм:

$$V_{жн} = V_p - V_{гн} \quad (1)$$

де V_p - об'єм резервуара.

У дно резервуара вмонтовано трубу кругового перетину радіуса a та довжиною L . Кінець труби виведено в атмосферу. У трубі є заслінка, що дозволяє регулювати зв'язок резервуара з атмосферою.

У момент часу $t = 0$ заслінка відкривається, і рідина починає витікати по трубі з резервуара в атмосферу під дією різниці тисків $P_{нн} - P_a > 0$. При витіканні рідини газ займає об'єм, який звільнився в резервуарі. Це приводить до зменшення тиску в резервуарі, що описується рівнянням Бойля-Маріотта:

$$P_{нн} V_{гн} = P V_t \quad (2)$$