

*А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН КАРКАСА СО ВСПУЧИВАЮЩИМСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

(представлено д.т.н. Поздеевым С.В.)

Показана важность учета влияния времени потери прочности при прогреве стальной конструкции на расчет предела огнестойкости системы «вспучивающееся огнезащитное покрытие – стальная конструкция».

**Ключевые слова:** стальные конструкции, вспучивающееся огнезащитное покрытие, предел огнестойкости, критическая температура.

**Постановка проблемы.** Широкое применение в промышленных каркасных зданиях стальных конструкций обуславливает особые требования к их пожарной безопасности. Основная опасность при нагреве металлических конструкций состоит в значительных деформациях и быстрой потере ими прочности, начиная уже с 350°C. Эффективным методом огнезащиты стальных конструкций является использование вспучивающихся покрытий, которые при соприкосновении с огнем изменяют свою структуру, значительно увеличиваясь в объеме и образуя термозащитный слой [1].

При проектировании и возведении стальных каркасных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями, для обеспечения нормативных значений их огнестойкости появляется необходимость прогнозирования соответствующих характеристик с учетом условий силовых нагрузок. Здесь возможны два подхода:

- оценить пределы огнестойкости существующих стальных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями;
- предложить тип и толщину слоя вспучивающихся покрытий для обеспечения требуемой огнестойкости стальных конструкций.

Однако, экспериментально определить огнестойкость крупных стальных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями, в составе сооружения практически невозможно. Поэтому необходима расчетная оценка их пределов огнестойкости.

Проблема расчетной оценки заключается в том, что при нагреве кардинально меняются свойства защитного покрытия, его толщина и структура, а также свойства металлической конструкции, и все это следует учитывать при разработке метода решения задачи.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Особенностью вспучивающихся огнезащитных покрытий является быстрое увеличение

их объема при нагреве и образование «шубы» с низкой теплопроводностью, защищающей основной материал от нагрева [1]. Существующие методики расчета позволяют достоверно рассчитывать эффективность таких защитных покрытий, учитывая время прогрева первоначального слоя до начала его вспучивания и, затем, время, в течение которого вспученный слой способен защищать конструкцию [2, 3]. При этом для стальных конструкций в связи с высокой теплопроводностью стали временем достижения предела огнестойкости считают момент, когда температура на границе «защитное покрытие – металл» становится равной критической температуре конструкции [3]. Значения пределов огнестойкости, рассчитанные таким образом, т.е. не учитывающие время прогрева собственно металлической конструкции, находящейся в напряженном состоянии, могут быть несколько заниженными. Это может в некоторых случаях приводить к перерасходу материалов или неточному прогнозу поведения стальных конструкций при пожаре.

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей работы является расчет времени прогрева сжатой стальной конструкции, защищенной вспучивающимся покрытием, до критической температуры в зависимости от первоначальной толщины покрытия.

Предел огнестойкости стальной конструкции  $\tau_{кр}$  можно представить как сумму времён прогрева:

- защитного покрытия  $\tau_{Fb}$  до температуры его вспучивания  $t_{Fb}$ ;
- вспученного слоя  $\tau_{Fs}$  до критической температуры стальной конструкции  $t_{kS}$ ;
- стальной конструкции до потери прочности  $\tau_{kS}$ :

$$\tau_{кр} = \tau_{Fb} + \tau_{Fs} + \tau_{kS}. \quad (1)$$

Расчет огнестойкости стальной конструкции защищенной вспучивающимся покрытием основывается на уравнении теплопроводности Фурье для описания одномерного температурного поля

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right), \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность материала конструкции с учетом пористости;  $c$  – удельная теплоемкость материала конструкции;  $t$  – температура;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала конструкции;  $x$  – координата, направленная по толщине материала;  $\tau$  – время.

Уравнение (2) решается численным методом конечных элементов для слоя защитного покрытия, как до его вспучивания, так и после вспучивания со следующими краевыми условиями:

а) для наружной (нагреваемой) поверхности огнезащитного покрытия принимаются граничные условия 3-го рода:

– температура среды ( $t_F$ ) изменяется в соответствии с кривой «стандартного» пожара

$$t_F = 345 \lg(8\tau + 1) + t_0; \quad (3)$$

– коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ ) от газовой среды к поверхности конструкции равен

$$\alpha = 29 + 5,75\varepsilon_\gamma \frac{\left(\frac{t_F}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{Fb}}{100}\right)^4}{t_F - t_{Fb}}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_\gamma$  – приведенная степень черноты облучаемой поверхности.

б) для границы между покрытием и стальной конструкцией колонны принимаются условия:

- коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 0$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) (адиабатная стенка);
- граничные условия:

$$t|_{x=x_\gamma-0} = t|_{x=x_\gamma+0}; \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=x_\gamma-0} = \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=x_\gamma+0}. \quad (6)$$

В качестве стальной конструкции рассматривается одноопорная центрально сжатая колонна, обогреваемая с 4-х сторон. Зная характеристики колонны, и задавшись постоянной нагрузкой, можно определить для нее критическую температуру, зная коэффициент снижения несущей способности

$$\gamma_T = \frac{N}{\varphi A_K R_S \gamma_c}, \quad (7)$$

где  $N$  – нагрузка на колонну;  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба;  $A_K$  – площадь сечения колонны;  $R_S$  – предел сопротивления материала колонны;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы.

Вычислив приведенную толщину колонны  $\delta_k$ , можно определить время потери прочности [4].

При расчетах были сделаны следующие допущения:

- процесс прогрева рассматривался для локального участка как для полубесконечного тела с граничными условиями 3 рода;
- время вспучивания защитной пленки не учитывалось;
- предполагалось, что тепловой контакт между слоем защитного покрытия как до вспучивания, так и после вспучивания и стальной кон-

струкцией является идеальным;

Расчеты проводились для стальных колонн различного сечения, покрытых огнезащитным вспучивающимся составом «Терма» с характеристиками: плотность  $\rho = 0,8 \text{ кг/м}^3$ ; эффективный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{эф}} = 0,05 \dots 0,32 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент вспучивания  $k_{\text{в}} = 40$ ; критическое значение температуры  $t_{\text{Фб}} = 177^\circ\text{С}$ . Для каждого расчета принималась нагрузка на колонну, обеспечивающая критическую температуру  $t_{\text{кр}} = 500^\circ\text{С}$ .

Результаты вычислений показаны в табл. 1.

**Табл. 1. Расчетные значения предела огнестойкости стальных одноопорных колонн покрытых огнезащитным вспучивающимся составом «Терма»**

Профиль колонны	Обогреваемый периметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Приведенная толщина, мм	Толщина покрытия, мм	Время прогрева покрытия, $\tau_{\text{Фб}} + \tau_{\text{Фс}}$ , МИН	Время прогрева колонны, $\tau_{\text{кС}}$ , МИН	Предел огнестойкости, $\tau_{\text{кр}}$ , МИН
Труба $\square 200 \times 5$	800	3790	4,74	1,0	58	8	66
				2,0	68		76
Двутавр 20Б1	788	2849	3,61	1,0	44	8	52
				2,0	62		70
Двутавр 30Б1	1140	4192	3,67	1,0	46	8	54
				2,0	62		70
Двутавр 40Б1	1430	6125	4,28	1,0	56	8	64
				2,0	66		74
Двутавр 50Б1	1766	9298	5,26	1,0	59	10	69
				2,0	70		80
Двутавр 20Ш1	1152	3895	3,38	1,0	30	7	37
				2,0	60		67
Двутавр 30Ш1	1366	6831	5	1,0	58	9	67
				2,0	70		79
Двутавр 40Ш1	1957	12240	11	1,0	60	11	71
				2,0	71		82
Двутавр 50Ш1	2146	14570	12	1,0	60	12	72
				2,0	72		84

Приведенный пример показывает, что при оценивании огнестойкости стальных конструкций, защищенных вспучивающимся покрытием «Терма», время прогрева собственно стальных конструкций до потери ими прочности составляет 10...16% от расчетного предела огнестойкости. Причем этот вклад будет возрастать при увеличении приведенной толщины конструкции. Также следует обратить внимание, что поскольку критическая температура стальных конструкций зависит от величины нагрузки на них и предела сопротивления стали, то эти критерии следует учитывать при проектировании огнезащиты.

**Выводы.** Таким образом, на примере показано, что при расчетах предела огнестойкости защищенной стальной конструкции обязательно следует учитывать кроме времени прогрева вспучивающегося покрытия до критической температуры также время потери прочности самой стальной конструкции, которое зависит от величины нагрузки на нее и предела сопротивления стали.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Романенков И.Г., Зигерн-Корн В.Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. – М.: Изд. Стройиздат, 1984. – 240 с.
2. Голованов В.И. Метод испытания на огнестойкость стальных конструкций с огнезащитными покрытиями и облицовками / В.И. Голованов, А.В. Ружинский // Пожаровзрывобезопасность. – 1994. – №2. – С. 37-39.
3. Бессонов Н.М. Расчетный метод определения пределов огнестойкости металлоконструкций, покрытых огнезащитным вспучивающимся составом / Н.М. Бессонов, Т.Ю. Еремина, Ю.Н. Дмитриева, М.В. Крашенинникова // Пожарная безопасность. – 2007. – № 1. – С. 22-28.
4. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій: навчальний посібник / О.В. Васильченко, Ю.В. Квітковський, О.В. Миргород, О.А. Стельмах. – Харків : ХНАДУ, 2015. – 488 с.

*Получено редколлегией 12.10.2017*

О.В. Васильченко

**Оцінка вогнестійкості сталевих колон каркаса із вогнезахисним покриттям, що спучується**

Показана важливість урахування впливу часу втрати міцності при прогріві сталеві конструкції на розрахунок межі вогнестійкості системи «вогнезахисне покриття, що спучується – сталеві конструкції».

**Ключові слова:** сталеві конструкції, вогнезахисне покриття, що спучується, межа вогнестійкості, критична температура.

A. Vasilchenko

**Evaluation of resistance of steel frame columns with intumescent fire resistant coating**

Shows the importance of taking into account the influence of time of loss of strength when heating steel construction for calculation of the fire resistance of the system "intumescent – steel construction".

**Keywords:** steel structure, intumescent fire resistant coating, fire resistance limit, critical temperature.