

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ «МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КОНСТРУКЦИЯ- ОГНЕЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ- ПОЖАР» («МК-ОП-П»)

канд. техн. наук А.Ф. Стоянов, С.Ю. Рагимов  
(представлено докт. техн. наук. В.М. Комяк)

Приведены результаты испытаний работы вспучивающегося покрытия «Эндотерм ХТ-150» в условиях, соответствующих реальному пожару. Показана методика обработки данных и -на основе полученных результатов- дальнейшего планирования испытаний. Экспериментально подтверждена гипотеза, связывающая значения температуры на поверхности металлической конструкции и температуры пожара.

При взаимодействии реального пожара с металлической конструкцией, покрытой огнезащитным покрытием, происходит большое количество физических и химических процессов, связанных с распространением тепла в различных средах, влиянием излучения на ОП, изменением химического состава и структуры материала ОП (вспучиванием) и т.д. Именно вспучивание приводит к тому, что в системе возникает двухфазная структура- химическая реакция, имеющая место при воздействии повышенной температуры и излучения на ОП, ведет к тому, что ОП существенно (в десятки раз) увеличивается в объеме и приобретает вид пористого слоя, состоящего из твердой и газовой компонент.

Толщина, физические и химические характеристики ОП во время пожара существенно зависят от воздействия опасных факторов пожара, поэтому слой ОП в рассматриваемом случае не имеет постоянных и зависящих только от вида вещества физических характеристик- толщины, теплоемкости, теплопроводности, химического состава и др. В работе [1] был предложен алгоритм, связывающий внешнюю температуру пожара)- $T_n$  и температуру на поверхности МК)- $T_n$  с помощью эмпирической зависимости, полученной на основе обобщения результатов экспериментальных исследований.

Для того, чтобы получить однозначную связь между двумя указанными характеристиками, как функцию времени, и подтвердить достоверность предлагаемой методики расчета были проведены экспериментальные исследования, в качестве объекта исследований выбран огнезащитный состав «Эндотерм ХТ-150», выпускаемый предприятием «Спецматериалы» (г. Донецк, Украина).

Выбор объекта исследований был сделан по следующим соображениям:

-предприятие «Спецматериалы» является практически един-

ственной организацией, производящей серийно сертифицированные огнезащитные покрытия (сертификат соответствия УкрСЕПРО №1.016.06554-98, №СДС 07.007-98, сертификаты пожарной безопасности МВД РФ № ССПБ.УА. ОП 002.В.0039, № ССПБ.УА. УП. 001.В.00733) на территории Украины;

-сравнение эффективности и стоимости изучаемого покрытия и его зарубежных аналогов показывает, что применение отечественного продукта значительно более эффективно (табл.1);

-покрытие «Эндотерм ХТ-150» широко используется в практике строительства и реконструкции предприятий, торговых помещений, других объектов народного хозяйства (в частности, предусматривается применение указанного состава для повышения пожарной безопасности атомных электростанций).

**Таблица 1- Сравнительная характеристика огнезащитных составов для металлоконструкций согласно сертификатам пожарной безопасности Российской Федерации**

Наименование	Предел огнестойкости, ч	Приведенная толщина МК, мм.	Толщина ОП, мм.	Средний расход, кг/м <sup>2</sup>	Цена, \$/м <sup>2</sup>
Эндотерм ХТ-150	0.75	3.4	4.4 *	8.8	22
Unitherm 38091	0.75	3.4	1.6	3.2	61.2
Unitherm 38320	0.75	3.4	2	4.0	72

\* – но не меньше 3.8 мм. в каждой точке

При испытаниях использовался стенд, созданный предприятием «Спецматериалы», построенный согласно стандарту РФ (НПБ 236-97). Установка представляет собой огнеую печь, пространство внутри которой нагревается за счет сгорания дизельного топлива или керосина (использовались энергетические блоки к битумоплавильному котлу МС-438).

Для измерения температуры и записи результатов применялись стандартные хромель-алюмелевые термопары и прибор для записи данных ГСП (вольтметр и самописец).

Погрешность измерений, согласно техническому описанию и инструкции по эксплуатации прибора, составляет  $\pm 5\%$ .

Нанесение покрытия выполнялось согласно технологической инструкции [2].

Исследовались образцы, часто применяемые на практике: металлическая пластина; швеллер; двутавр.

Цели испытаний сформулируем следующим образом.

1. Для каждого из образцов 1-3 получить аппроксимирующие зависимости вида [1]:

$$T_n(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(\delta) T_{вi}(t). \quad (1)$$

Здесь  $\delta$  - толщина нанесения покрытия.

2. С помощью контрольной серии испытаний проверить, насколько адекватно описывается температура на поверхности МК зависимостями (1).

Первичные результаты испытаний заносились в таблицы вида:

Таблица 2- Формат оформления первичных результатов испытаний

Тип образца	№	Момент времени (с)	$T_n(^{\circ}\text{C})$	$T_{в}(^{\circ}\text{C})$
-------------	---	--------------------	-------------------------	---------------------------

Промежуток времени между двумя соседними точками при испытаниях был равен 1 мин.

Общий период наблюдения за образцами во всех случаях выбирался равным  $\tau=50$  мин., что соответствует максимальному пределу огнестойкости среди всех значений, полученных при испытаниях. В качестве температуры на поверхности МК выбиралось среднее арифметическое из значений, полученных в различных точках поверхности, выбираемых в соответствии с НПБ 236-97 РФ.

Несколько забегая вперед, укажем, что разница между максимальной и минимальной температурами в каждый момент времени в различных точках поверхности МК лежит в пределах погрешности измерения прибора (5%).

При каждом испытании регулировка энергетических блоков варьировалась случайным образом относительно кривой, соответствующей стандартному пожару. При этом разница между температурой стандартного пожара и реальной температурой в печи в каждый момент времени не превышала 40%.

Предлагаемая в работе [1] методика требует коррекции количества испытаний в зависимости от полученных результатов. Именно, речь идет о количестве функций  $T_n(t)$  в формуле (1), т.е. о величине  $N$ , поэтому серию испытаний, выполняемую для каждого образца, можно разделить на два блока: блок А- испытания, проводимые с целью получить коэффициенты формулы (1); блок Б- контрольная серия испытаний, необходимая для верификации формулы (1) и, быть может, уточнения  $N$ . Количество испытаний в контрольной серии (блок Б) определяется методами теории пла-

нирования эксперимента [3].

Рассмотрим случайную величину:

$$X_k = \frac{\text{sign}(T_k(t^*) - \tilde{T}(t^*)) \max_{t \in [0; \tau]} \{ \text{abs}(T_k(t) - \tilde{T}(t)) \}}{\min_{t \in [0; \tau]} \{ T_k(t); \tilde{T}(t) \}}. \quad (2)$$

Здесь  $t^*$  определяется из условия:

$$\frac{\text{abs}(T_k(t^*) - \tilde{T}(t^*))}{\min_{t \in [0; \tau]} \{ T_k(t); \tilde{T}(t) \}} = \frac{\max_{t \in [0; \tau]} \{ \text{abs}(T_k(t) - \tilde{T}(t)) \}}{\min_{t \in [0; \tau]} \{ T_k(t); \tilde{T}(t) \}}. \quad (3)$$

Физический смысл величины (2) очевиден- она равна максимальному отклонению между рассчитанным и измеренным значением  $T_n$  в течение всего времени наблюдения, нормированному таким образом, чтобы утверждение " $X_k=x$ " соответствовало утверждению "значения функций отличаются друг от друга на промежутке  $[0; \tau]$  максимум на  $x \cdot 100\%$ ".

Приведем общий алгоритм проведения испытаний и обработки результатов для каждого из изучаемых объектов 1-3.

1. Выполняются испытания контрольной серии (блок Б). При этом количество испытаний в контрольной серии должно быть достаточным для последующего статистического анализа.

2. Задается  $N=2$ .

3. Выполняются испытания (блок А).

4. Определяются коэффициенты формулы (1) [1].

5. Выполняется расчет математического ожидания и дисперсии  $\sigma$ .

6. Если  $\bar{X} + 3\sigma \leq 0.1$ , то с высокой степенью вероятности можно утверждать, что при любом повторном испытании рассчитанные и измеренные значения  $T_n$  будут отличаться менее, чем на 10%.  $\Rightarrow$  переход к шагу 7.

В противном случае-  $N=N+1$  и переход к шагу 3.

7. Конец работы алгоритма.

Основные результаты расчетов приведены в табл.2.

Из таблицы 2. следует, что в 99% случаев максимальное отклонение между рассчитанным по предлагаемой методике значением температуры на поверхности МК и действительным значением температуры составит: для образца 1-  $0.1+3 \cdot 0.02=0.16$ ; для образца 2-  $0.034+3 \cdot 0.005=0.045$ ; для образца 3-  $0.1+3 \cdot 0.005=0.115$ . Таким образом, действительное значение температуры на поверхности МК отличается от рассчитанного не более, чем на 16%.

Таблица 2- Основные результаты расчета

Тип образца	N	$\bar{X}$ (математическое ожидание)	$\sigma$ (дисперсия)
1	3	0.1	0.02
2	4	-0.034	0.005
3	3	-0.1	0.025

Полученные результаты позволяют: моделировать воздействие реального пожара (с произвольной зависимостью температуры пожара от времени) на МК, защищенную огнезащитным покрытием; построить зависимость температуры на поверхности МК, в частности, для стандартного пожара в случае, когда не удастся точно соблюсти условия стандартного пожара с помощью регулировки подачи топлива.

Данная работа является актуальной, т.к. апробированная методика проведения испытаний и обработки результатов позволяет установить, насколько эффективной будет работа вспучивающегося огнезащитного покрытия в условиях реального пожара. Важным является тот факт, что в качестве основного объекта исследований выбрана продукция отечественного производства, которая по своим характеристикам (с учетом стоимости) превосходит зарубежные аналоги.

Новизна работы состоит в том, что для исследования не привлекаются методы теории теплопроводности и соответствующие системы дифференциальных уравнений, а зависимость температуры на поверхности МК строится на основе обобщения экспериментальных результатов. Отметим в заключение, что авторы считают целесообразным проведение аналогичных испытаний для других покрытий, применяющихся на практике. Это позволит, во-первых, получить важные теоретические результаты и, во-вторых, рассчитывать момент возможного обрушения МК при пожаре.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Стоянов А.Ф., Рагимов С.Ю. Математическая модель влияния пожара в помещении на металлическую конструкцию, покрытую огнезащитным покрытием//Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр.- Вып.5.- Харьков: 1999.- С. 180-182.

2 Технологическая инструкция по приготовлению и нанесению огнезащитного вспучивающегося состава «Эндотерм ХТ150».- Донецк, 1997.

3 Лавренчик В.Н. Постановка эксперимента.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 270 с.