

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЛИЯНИЯ ПОЖАРА НА ЛЕГКИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗАЩИЩЕННЫЕ ВСПУЧИВАЮЩИМИСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

С.Ю. Рагимов

(представлено д.т.н., проф. Л.А. Тимофеевой)

На основе использования существующих моделей развития пожара предложена методика расчета влияния пожара на легкие металлические конструкции, покрытые вспучивающимися огнезащитным покрытием.

При изучении процесса действия огнезащитных покрытий весьма важную роль играет разработка адекватных математических моделей, исследуемого процесса. Это связано с тем, что возможности эксперимента в этой области весьма ограничены, а проведение полномасштабных экспериментов внутри больших помещений практически невозможно.

Следует учитывать, что процесс не сводится только к изменению свойств покрытий и температуры в рассматриваемой области (что иногда предполагается во время экспериментов и теоретического анализа). Для изучения процесса влияния развития пожара на металлические конструкции необходимо рассмотреть более детально все элементы рассматриваемой системы.

Укажем основные особенности взаимодействия элементов системы "легкая металлическая конструкция (ЛМК) - огнезащитное покрытие (ОП) - пожар (П)" (при этом заметим, что приведенные особенности относятся практически к любому типу огнезащиты: обетонированию, огнезащитным облицовкам, огнезащитным покрытиям, вспучивающимся огнезащитным покрытиям, хотя для конкретных типов огнезащиты наиболее существенную роль может играть некоторая их часть): изменяются физические и химические характеристики покрытия - его плотность, объем, температура, теплопроводность; внешнее воздействие со стороны пожара также меняется в зависимости от времени.

В самом деле, температура на внешней границе слоя покрытия определяется следующими факторами: химическими реакциями, идущими на поверхности покрытия, и температурным режимом внешней среды, т.е. главным образом, изменениями температуры внешней среды, вызванными пожаром. Поэтому изменение свойств металлической конструкции в условиях пожара нельзя рассматривать, как результат только высокой температуры, одинаковой во всех точках конструкции в течение всего периода пожара.

Следует разработать математические модели для всей системы "легкая металлическая конструкция - огнезащитное покрытие - пожар" ("ЛМК-ОП-П"), когда учитывается изменение свойств внешней среды (температуры, химического состава) в зависимости от времени и координат в пространстве, а также изменение состояния металлических конструкций в результате этого воздействия.

Для того чтобы точно решить задачу расчета процесса влияния пожара на металлические конструкции, покрытые огнезащитными покрытиями, необходимо рассмотреть набор уравнений в частных производных физической газовой динамики [1], дополненный информацией об изменении свойств рассматриваемых материалов в условиях высокой температуры, а также о протекающих на поверхности взаимодействия твердой и газовой фаз и внутри фаз сложных химических реакциях. Очевидно, что в инженерной практике решения задач такого рода практически неприменимы. Поэтому необходимо ввести некоторые упрощающие предположения, без ущерба для точности полученных результатов.

Прежде всего, выполним декомпозицию задачи, т.е. разделим задачу математического моделирования системы "ЛМК-ОП-П" на две: развитие пожара в помещении и изучение процессов, протекающих при этом собственно внутри металлической конструкции, покрытой огнезащитным покрытием. Впоследствии результаты решения первой задачи будут использованы при решении второй, как внешняя информация.

Будем считать, что пожар в здании развивается независимо от процессов, идущих внутри огнезащитных покрытий и металлических конструкций, или, что то же самое, нет влияния на пожар со стороны части системы "ОП-ЛМК". Тогда моделирование пожара в помещении и моделирование поведения металлических конструкций, покрытых огнезащитным покрытием, в условиях пожара, могут выполнятьсь отдельно. Далее будем называть эти "блоки" общей математической модели подзадачей 1 и подзадачей 2 соответственно.

Предположим, что пожар в здании моделируется зонной моделью [2]. Предположение о возможности применения зонной модели оправдывается большим количеством имеющихся экспериментальных данных, причем зонные модели разрабатывались, главным образом,

именно для изучения поведения тех или иных архитектурных элементов зданий в условиях пожара. Кроме того, зонная модель приводит к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, для решения которых существует стандартное программное обеспечение. В этом случае для расчета характеристик пожара требуется решить систему обыкновенных дифференциальных уравнений уравнений первого порядка вида

$$dY_i / dt = f(Y_1, Y_2, \dots, t); i=1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Для того чтобы эффективно моделировать работу ОП в условиях пожара, прежде всего, необходимо знать температуру на поверхности ЛМК в каждый момент времени, если зависимость внешней температуры газовой фазы (температуры пожара) известна, т.е. решена подзадача 1. На основании анализа экспериментальных результатов работы [3] предложена следующая приближенная зависимость температуры на поверхности ЛМК (T_n) от температуры пожара (T_b)

$$T_n = T_b \cdot \text{const}, \text{ если } T_{kp1} < T_b < T_{kp2}, \quad (2)$$

$$T_n = T_b \text{ если } T_{kp2} > T_b \text{ или } T_b < T_{kp1}.$$

Здесь T_{kp1} ($^{\circ}\text{C}$) - критическое значение температуры, при которой начинает "работать" покрытие, T_{kp2} ($^{\circ}\text{C}$) - критическое значение температуры, когда покрытие выгорает.

В дальнейшем предполагается уточнить зависимость (1) посредством обработки экспериментальных данных, аппроксимируя функцию $T_n(T_b)$ полиномом третьей степени на отрезке $[T_{kp1}; T_{kp2}]$

$$T_n = AT_b^3 + BT_b^2 + CT_b. \quad (3)$$

Коэффициенты А, В, С зависят от вида покрытия, толщины его слоя, материала и геометрических особенностей конструкции.

Используя решение подзадачи 1 в качестве входной информации для подзадачи 2, можно рассчитать все основные характеристики процесса влияния пожара на ЛМК, покрытые вспучивающимся ОП. Результаты расчетов легко оформить в виде таблиц и номограмм, которые будут использоваться непосредственно РТП в процессе тушения пожара и работниками пожарной охраны при разработке мер пожарной профилактики.

Новизна настоящей работы состоит в том, что в ней впервые

предлагается методика расчета характеристик системы "ЛМК - ОП - П" в условиях реального пожара (а не воздействия высоких температур на ЛМК и ОП). Кроме того, предложена декомпозиция задачи, которая дает возможность сначала рассчитывать характеристики процесса развития пожара, а впоследствии - влияние пожара на элементы "ЛМК - ОП". Такой подход весьма упрощает решение, и программная реализация алгоритмов не требует существенных затрат времени ЭВМ и больших усилий при разработке программного обеспечения.

Важным элементом является также предложенная математическая модель работы ОП, когда рассматривается зависимость температуры на поверхности ЛМК, как функция температуры пожара.

Работа является актуальной, т.к. выводы, полученные в результате использования предложенной методики, можно непосредственно использовать в процессе работы сотрудников пожарной охраны, причем использовать полученные результаты могут работники, не имеющие специальной подготовки в области теории горения и развития пожара, программирования, прикладной математики.

В частности, результатом работы алгоритма является время с момента начала пожара, в течение которого можно безопасно, с точки зрения прочности ЛМК, входить в помещение, что немаловажно при разработке оптимальной (рациональной) тактики распределения сил и средств в процессе тушения.

Имеющиеся алгоритмы позволяют обработать информацию о конструкции каждого конкретного здания и предложить рекомендации по нанесению огнезащитных покрытия на отдельные конструктивные элементы здания.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Гидродинамика. - М.: Наука, 1986. - 356 с.
- 2 Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul Renke, Rebecca Portier, Walter W. Jones CFAST, the consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport // Nist Technical Note 1299. - Gaithesburg (USA). - 1993. - 235 p.
- 3 Савкин Н.П. и др. Огнезащитная способность модифицированного покрытия ОВП-180 // Огнестойкость строительных конструкций и обеспечение пожарной безопасности людей и материальных ценностей: Сб. научн. тр.- М.: ВНИИПО, 1989 - С. 54 - 56.