

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; Пер. с англ. Я.П.Горелика и Т.В.Михайловой; Под ред. С.Н.Горшина, А.Н.Кириллова, В.Е.Кузнецова, И.С.Мелехова, Л.Г.Плоткина, Б.Н.Уголева, А.С.Фрейдина, И.К.Шмурнова. – М.: Лесн. Пром-сть, 1979. – 544 с.
2. Найчук А.Я. Методика определения вязкости разрушения древесины K_{Ic} . – В кн.: Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций.: Сб. науч. тр. ЦНИИпромзданий. М.:1992, с. 63-70.
3. Найчук А.Я., Драган В.И., Петрукович А.Н. Методика экспериментального определения характеристик трещиностойкости древесины на ДКБ-образцах. //Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1(25). с. 85-88.
4. Найчук А.Я., Петрукович А.Н. Применение метода калибровки податливости для определения трещиностойкости древесины. //Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1(25). с. 88-91.

УДК 624.84: 624 (075.8)

Кулинич В.Г., Гомон М.М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОБУГЛИВАНИЯ НЕСУЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

Современный человек живёт в мире природных, техногенных, антропогенных, экологических видов опасностей. Опасности подстерегают людей почти повсеместно, в любых условиях обитания и формах деятельности. Начиная с 1991 года в Республике Беларусь наблюдается увеличение количества пожаров, в среднем, на 1-5% ежегодно. Анализ существующих тенденций позволяет предполагать дальнейшее ухудшение обстановки в стране, в части возникновения пожаров (загораний).

С целью предотвращения значительного материального ущерба от пожаров на стадии проектирования, введено понятие «предел огнестойкости строительных конструкций». Предел огнестойкости – способность конструкции противостоять действию огня. Условием огнестойкости строительных конструкций является сохранение несущих функций в условиях пожара. Требования огнестойкости к конструкции считается выполненным, если $P_{ф} \geq P_{мр}$ ($P_{ф}$ – фактический предел огнестойкости, $P_{мр}$ – требуемый предел огнестойкости). В мировой практике для оценки огнестойкости деревянных конструкций используются экспериментальные и расчётные методы. Экспериментальные методы широко используются для оценки огнестойкости строительных конструкций во всём мире, они основаны на проведении испытаний образцов конструкций в огневых печах при стандартном температурном режиме [1,2]. Требования, предъявляемые к пределам огнестойкости конструкций в Республике Беларусь, определены в СНБ 2.02.01-98 [3]. Согласно данному документу предел огнестойкости деревянных несущих конструкций определяется только огневым методом по ГОСТ 30247.1-94 [4]. В настоящее время существует тенденция к применению нетрадиционного метода определения пределов огнестойкости конструкций – аналитический метод. Однако существующие алгоритмы не учитывают ряд факторов, возникающих в процессе пожара. Решение уравнений приводится к использованию стандартных (табличных) величин, к геометрическим параметрам конструкции. Одна из таких величин – это глубина обугливания. Глубина обугливания (скорость нарастания обугленного слоя) зависит от ряда физических, химических свойств. В различных источниках скорость обугливания указывается в пределах от 0,5 до 0,9 мм/мин [5]. В частности в издании «Огнестойкость строительных материалов» [5] приведены следующая скорость обугливания:

| Наименьший размер сечения, мм | Скорость обугливания мм/мин |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| ель, сосна, с влажностью не более 9% | |
| - 120 мм и более | 0,6 |
| - менее 120 мм | 0,7 |

При таком разбросе выбор скорости обугливания, необхо-

димой при расчетах, весьма затруднен. Однако мы знаем, что сечение конструкции изменяется в зависимости от скорости обугливания, что в свою очередь влияет на её несущую способность.

В данной статье предлагается математический способ определения скорости обугливания, и показана зависимость скорости обугливания от нахождения очага пожара, площади пожара, вида материала, температуры при горении твёрдых веществ, теплового потока.

В литературе, касающейся расследования пожаров, традиционно проводится средняя скорость обугливания, равная 0,6 мм/мин. В действительности же скорость горения (обугливания) R_w не является постоянной величиной, а существенно меняется в зависимости от теплового потока. Эта зависимость отображается в следующем виде [6]:

$$R_w = 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot q_d, \text{ мм/мин}, \quad (1)$$

где q_d – интенсивность теплового потока, кВт/м².

Данная формула будет отправной точкой для оценки глубины обугливания конструкций из древесины, подвергнутых воздействию высоких температур.

В качестве основного параметра, позволяющего оценивать тепловые режимы пожара, принимается среднеобъемная температура газа в горящем помещении T_m (К) или t_m (°С).

При условии, что t_m известна, для расчета усредненного суммарного коэффициента теплоотдачи к поверхностям ограждений в условиях пожара рекомендуются формулы [7]:

$$\text{при } t_m < 60^\circ\text{C} \quad \alpha = 4,07 (t_m - t_0)^{1/3} \quad (2)$$

при $t_m > 60^\circ\text{C}$, вплоть до максимальной температуры, в данных условиях развития пожара

$$\alpha = 11,63 \cdot \exp [0,00012 (t - t_0)], \quad (3)$$

где t_0 – начальная температура среды перед пожаром (°С).

Очевидно, интенсивность теплообмена различается не только для пола и потолка, но и по высоте стен. Формулы (2), (3) дают значение коэффициента теплоотдачи условного, поскольку он отнесен к суммарной поверхности ограждений горящего помещения. Кроме того, теплообмен в таких условиях является сложным, обусловленным одновременно конвекцией и излучением, и его интенсивность зависит от формы и размеров факела пламени, температуры и оптической плотности среды.

Наиболее распространена ситуация, связанная с горением локального очага. При горении жидкостей или предмета мебели многие характеристики факела определяются следующими параметрами: максимальной температурой, эквивалентным диаметром очага горения и координатой точки по высоте факела Z_{max} , где развивается максимальная температура.

Для практики интересны ситуации, когда от факела пламени (например, при горении разлитой на полу жидкости или предмета мебели) нагреваются потолок помещения, пол, стены и предметы интерьера. Анализ таких ситуаций позволяет получить данные для оценки развития пожара во времени от локального очага. В случае, когда рассматривается прогрев горизонтально расположенной плоской конструкции над очагом горения, такой наиболее критической зоной является окрестность точки, которая располагается над геометрическим центром основания факела. Для нее тепловой поток будет складываться из конвективной и лучистой составляющих:

$$q = q_k + q_l = \alpha_k (t - t_c) + q_l. \quad (4)$$

Для критической области коэффициент конвективной теплоотдачи α_k определяется из уравнения [7], [8]:

$$Nu_* = \alpha_k r_* / \lambda = 0,835 Re_*^{1/2} Pr^{1/3}, \quad (5)$$

$$Re_* = u_* r_* / \nu, \quad (6)$$

$$u_m = 0,92u (h / Z_{max})^{-0,8}, \quad (7)$$

$$Pr = (\nu / a) - 0,6, \quad (8)$$

$$r_* = 0,51 Z_{max} (h / Z_{max}), \quad (9)$$

где u – скорость набегающего потока; h – высота от основания факела до перекрытия (м).

Стены, предметы обстановки при локально горящем вблизи них факеле подвергаются воздействию главным образом лучистого теплового потока. Экспериментально установлено, что максимальная плотность падающего лучистого потока реализуется в горизонтальной плоскости на высоте, соответствующей высоте факела в том месте, где его температура имеет наибольшее значение, т. е. на высоте Z_{max} .

Для расчета максимальной плотности падающего лучистого потока в зависимости от критерия Бугера (Bu), характеризующего оптическую плотность среды, используются следующие формулы [8]:

- при значениях критерия $Bu \leq 1$

$$q_l = 0,16 \sigma_0 T_{max}^4 (x / d_{эк})^{-1,65 Bu^{-3,5}}; \quad (10)$$

- при значениях критерия $Bu > 14$

$$q_l = 0,24 \sigma_0 T_{max}^4 (x / d_{эк})^{-1,65}, \quad (11)$$

где x – расстояние от основания факела до места нагрева по горизонтали (м); $d_{эк}$ – эквивалентный диаметр очага горения (м); σ_0 – постоянная излучения абсолютно черного тела.

Для локальных очагов горения может быть принято [8]:

$$Bu = (1,6 \cdot 10^{-3} \cdot T_{max}^4 - 0,5) d_{эк}. \quad (12)$$

Для ориентировочных оценок допускается принимать $Bu = 2d_{эк}$.

В обобщенном виде выражение для расчета максимальной плотности лучистого потока в горизонтальном направлении имеет вид [8]:

$$q_l = A \sigma_0 T_{max}^4 (x / d_{эк})^B, \quad (13)$$

где значения коэффициентов A и B могут быть взяты из графика (рис. 1, 2) в соответствии с рассчитанной величиной $Bu = 0-15$.

Как известно, при пожарах обычно в наименьшей степени повреждается пол, если ниже его уровня не происходило горение. Передача тепла от локального факела пламени осуществляется главным образом в восходящем направлении, а также в стороны. В меньшей степени, но все же происходит передача тепла излучением от факела к поверхности пола, чем обуславливается возможность прогрева его материалов и распространения по ним пламени.

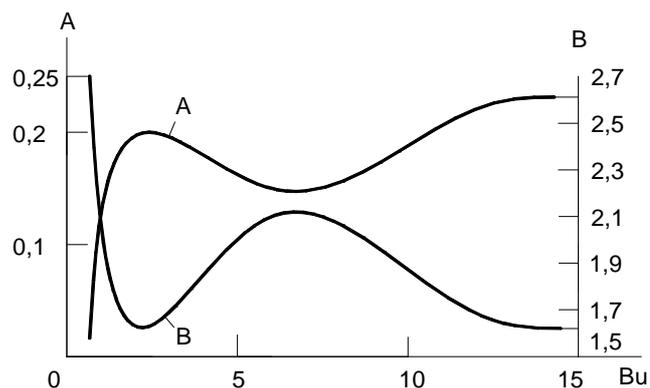


Рис. 1. Зависимость коэффициентов A и B от критерия Бугера (теплопередача к стенам) [8].

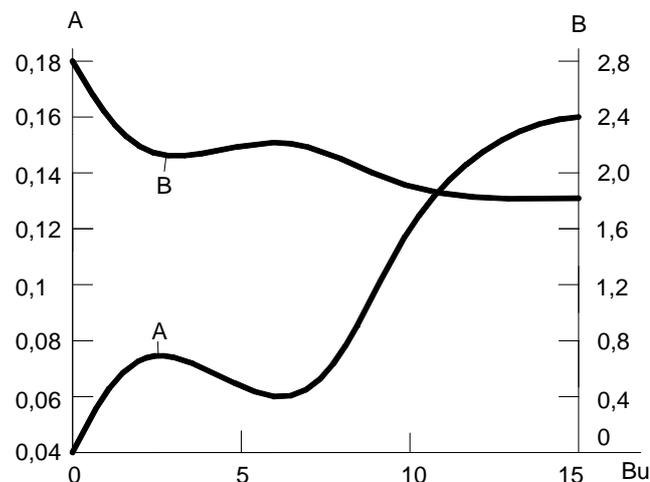


Рис. 2. Зависимость коэффициентов A и B от критерия Бугера (теплопередача к поверхности пола) [8].

Пример.

При работе пожарных экспертов часто возникает проблема определения продолжительности пожара по состоянию объекта, пораженного огнем.

При расследовании пожара в деревянном здании было выяснено, что причиной пожара являлось воспламенение бензина, разлитого на полу. Глубина обугливания на расстоянии 1 м от очага пожара составила 10 мм. Необходимо оценить продолжительность пожара.

Скорость обугливания существенно зависит от интенсивности теплового воздействия (величины теплового потока, воздействующего на древесину) и, соответственно, температуры пиролиза древесины. Так, например, при снижении температуры от 800 - 900 до 600 °С скорость обугливания древесины сосны снижается от 0,7 до 0,37 мм/мин. Скорость обугливания R_w меняется в зависимости от теплового потока соответственно формуле (1).

Для расчета плотности падающего лучистого теплового потока от факела с диаметром основания $d_{экв}$ к участку поверхности пола на расстоянии x в плоскости, совпадающей с плоскостью основания факела, воспользуемся выводами формулы (13):

при $Bu \leq 1$

$$q_l = 0,05 \sigma_0 T_{max}^4 \left(\frac{x}{d_{экв}} \right)^{0,4 Bu^{-2,88}}$$

при $Bu > 14$

$$q_l = 0,11 \sigma_0 T_{max}^4 \left(\frac{x}{d_{экв}} \right)^{1,8},$$

где $Bu = (1,6 \cdot 10^{-3} \cdot T_{max}^4 - 0,5) d_{эке}$

Судя по состоянию обугленности древесины (образование крупнопористого древесного угля) и состоянию сохранившихся фрагментов штукатурки (возникновению розового оттенка), в рассматриваемом случае максимальная температура пожара составляла порядка 400 - 600 °С.

Значение $Bu > 14$, тогда

$$q_n = 0,11 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 600^4 \left(\frac{1}{3,82} \right)^{-1,8} = 9021,83 \text{ Вт/м}^2.$$

Отсюда скорость обугливания R_w равна:

$$R_w = 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot 9,02 = 0,2 \text{ мм/мин.}$$

Учитывая, что скорость обугливания древесины получена равной 0,2 мм/мин и принимая во внимание то, что глубина обугливания деревянных конструкций пола в помещении спальной комнаты составила максимум 1 см, то время, необходимое для обугливания древесины на такую глубину, составит 50 мин.

Как видно из примера расчёта величина скорости обугливания зависит от материалов, находящихся в зоне горения,

УДК 699.81:624.012.3/4

Якимук В.П.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ ПОЖАРА ПО ХАРАКТЕРНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПРИЗНАКАМ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В процессе строительства зданий и их эксплуатации в следствии различных причин могут возникнуть пожары или аварии, сопровождающиеся неконтролируемым горением. Для пожаров характерно кратковременное воздействие огня на строительные конструкции [1]. Мощность огневого воздействия на конструкции обуславливает длительность пожара и рост температур его внутренней среды. Обследование зданий после пожаров показывает, что железобетонные конструкции имеют различную степень повреждения от огневого воздействия. В связи с этим различают зоны разрушения (обрушения) и аварийную, участки сильных, средних и слабых повреждений конструкций здания. Каждой зоне повреждения конструкций здания соответствует своя мощность и температурный режим огневого воздействия. При пожарах наибольшая температура наблюдается вверху, наименьшая - внизу строительных конструкций. Вследствие этого сечения различных по виду и месту расположения строительных конструкций от огневого воздействия одного и того же пожара прорегаются и повреждаются не одинаково.

Целью настоящей работы является визуальное определение температурного режима прошедшего пожара в зданиях и сооружениях, влияние температуры на материалы конструкций и восстановление события происшествия.

В современном понимании [2] к предмету пожарно-технической экспертизы строительных конструкций относятся совокупность фактических данных о проявлениях закономерностей механизма возникновения и развития пожара, связанных с этим процессом повреждений и разрушений конструкций, слеодообразования на конкретных объектах, составляющих обстановку места происшествия. В подавляющем большинстве случаев именно такая полная совокупность фактических данных интересует эксперта, проводящего исследование. Только объяснив содержание события пожара в пределах специальных знаний, можно сделать достоверные и обоснованные выводы по поставленным на разрешение вопросам.

Эксперт прибывает на место пожара после ликвидации горения, ему приходится определять действовавшие темпера-

турности на участках повреждения строительных конструкций по следам пожара [3]. Изучение последствий огневого воздействия на строительные конструкции зданий начинается с определения параметров пожара.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Международный стандарт ISO 834. Fire resistance – Elements of Building Construction.
2. Европейский стандарт EN 1363-1:1999. Fire resistance tests – Part 1: General requirement.
3. СНБ 2.02.01-98. Строительные нормы Республики Беларусь нормативно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов.
4. ГОСТ 30247.1-94
5. И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, А.Ф. Фролов. Огнестойкость строительных материалов. М.: - ЗАО «Спецтехника, 2001
6. Butler, С.Р. Notes on charring rates in wood. Fire research Note, 1971, No. 896.
7. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987.
8. Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчатский И.С., Шевляков А.Н. Термогазодинамика пожаров в помещении. – М.: Стройиздат, 1988.

туры на участках повреждения строительных конструкций по следам пожара [3]. Изучение последствий огневого воздействия на строительные конструкции зданий начинается с определения параметров пожара.

Исследуя представленные материалы, эксперт проводит диагностирование тех или иных сторон, фрагментов события происхождения, объясняет характер образовавшихся следов, обосновывает реальность или нереальность версий механизма возникновения повреждений и связь их с развитием пожара. Для этого необходимо восстановить развитие пожара [4] и поведение строительных конструкций во время огневого воздействия.

Диагностирование механизма возникновения пожара, разрушений конструкций, и последующих фактов и обстоятельств их развития в целом представляет собой весьма сложную задачу. Для ее решения нельзя составить подробный, конкретизированный алгоритм, позволяющий предусмотреть все необходимые этапы. На самом общем уровне структурная схема исследования пожара, как прообраз алгоритма, представлена в работе Б.В. Мегорского [5]. В дальнейшем эта схема конкретизируется применительно к тем или иным источникам возникновения горения [6,7].

Вследствие огневого воздействия и материалы, из которых изготовлены строительные конструкции и оборудование, оказавшиеся в зоне действия высоких температур, претерпевают различные изменения. Эти изменения сопровождаются характерными признаками, которые выражаются в изменении физических, химических и механических свойств материалов, в развитии деформации, разрушении или в полном уничтожении (выгорании) частей здания. При этом материалы, зафиксировавшие воздействие температуры на них, выступают в качестве естественных термоиндикаторов (термосвидетелей).

Естественные термоиндикаторы подразделяют на:

- меняющие цвет при определенной (критической) температуре;
- плавящиеся, выкипающие или выгорающие при заданной температуре;

Якимук Валерий Петрович, научно-практический центр учреждения «Брестское областное управление МЧС Республики Беларусь», ведущий научный сотрудник группы научно-технических разработок.