

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 повреждаются 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-

площади горения и имеет расхождения со справочными данными. Полученные значения являются расчетными и нуждаются в верификации с данными физических экспериментов.

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.

- характеризующие определенное состояние частей здания, строительных конструкций и оборудования после огневого воздействия соответствующей мощности.

Некоторые естественные термоиндикаторы обладают свойством «запоминать» температуры по сечению, длине и высоте строительных конструкций. К ним относятся распространенные строительные материалы - бетон, дерево, пластмассы.

Во время пожара возможны различные сочетания факторов, влияющих на температурный режим и поведение строительных конструкций. К числу основных факторов, определяющих разрушительные последствия пожара на здание, относятся:

- пожарно-техническая характеристика здания;
- величина нагрузок на элементы строительных конструкций; длительность воздействия пламени или высокой температуры;
- температурный режим по участкам здания (с учетом условий газообмена в зонах горения и охлаждающего действия огнетушащих средств).

Характерные признаки, свидетельствующие о воздействии на конструкции высокой температуры, определяются, с одной стороны, конкретными условиями горения и зависят в основном от характеристики и длительности воздействия теплового импульса, а с другой - от вида термоиндикатора.

Рассмотрим в качестве базового примера поведение бетона при нагреве, которое определяется изменением его составляющих: заполнителя и цементного камня [8,9,10]. К наиболее общим признакам, по которым можно судить о температуре, действовавшей на бетон, относятся:

- изменение цвета и закопчение;
- снижение тона звука при простукивании;
- отслаивание и отколы;
- взрывообразные и местные разрушения;
- изменение прочностных и деформативных характеристик, физико-химических свойств;
- оплавление и следы огневой эрозии бетона.

Цвет бетона изменяется в зависимости от вида заполнителя и вяжущего. При температуре до 300°C тяжелый бетон принимает розовый оттенок, при 400 - 600°C - красноватый, при 900 - 1 000°C - бледно-серый. В зоне интенсивного горения с температурами более 800°C сильной законченности бетона, как правило, не бывает, так как сажа полностью выгорает. В зоне действия повышенных и умеренно высоких температур (100 - 400°C) может происходить значительное оседание сажи.

При простукивании молотком можно установить степень повреждения огнем структуры бетона. Неповрежденный бетон имеет высокий тон звука, с увеличением степени разрушения бетона звук становится глухим. После воздействия температур более 600°C молоток при ударе сминает бетон на поверхности образца. Часть сечения образца, прогретая свыше 500°C, при ударе средней силы откалывается.

При воздействии умеренно высоких (200 - 400°C) и высоких температур (400 - 800°C) разрушение бетона носит или относительно спокойный или взрывообразный характер.

При относительно спокойном разрушении происходит температурное расшатывание бетона. Это объясняется тем, что в тяжелом бетоне коэффициент линейного температурного расширения заполнителей изменяется в больших пределах, вследствие чего сцепление заполнителей с цементным камнем при умеренно высоких температурах резко снижается. Микротрещины в бетоне образуются при температуре 300 - 400°C. При дальнейшем росте температур возникают макротрещины. После нагрева бетона до 500°C трещины увеличиваются настолько, что становятся видны невооруженным глазом. Ширина температурных трещин при этом менее 0,1 мм.

После воздействия температур 400 - 800°C трещины развиваются интенсивнее. Ширина раскрытия поверхностных трещин 0,5 - 1 мм. Образцы, прогретые до центра сечения температурами свыше 700°C, после охлаждения разрушаются

сразу. Увлажнение образцов бетона, нагретого до 600°C, способствует их полному разрушению [11,9].

Взрывообразное разрушение бетона в период пожара происходит в статически неопределимых, преднапряженных и тонкостенных элементах, а также в железобетонных конструкциях, изготовленных из автоклавных, пропаренных и высокопрочных бетонов. В условиях пожара бетон взрывается через 10 - 20 мин после начала интенсивного (1000 - 1200°C) огневого воздействия на железобетонные конструкции. Взрывообразное разрушение может происходить непрерывно в радиусе очага пожара на поверхности конструкций, подверженных воздействию огня. Взрыв наиболее поражает участки железобетонных конструкций, на которые непосредственно воздействует пламя. Взрывообразное разрушение бетона возникает, как правило, при быстром нагреве поверхности элемента (непосредственное воздействие пламени, жесткий температурный режим (800 - 1000°C при длительности воздействия 0,5 - 1 ч), высокая плотность теплового потока (более $500 \frac{МДж}{м^2 \cdot ч}$)). При этом температура на поверхности

бетона 700 - 900°C. В случае умеренного повышения температуры взрыв бетона происходит при 1000 - 1200°C и выше.

Конструкции, находившиеся под воздействием повышенных и высоких температур (до 800°C), можно определить по изменению скорости распространения ультразвука [12] при известной прочности поврежденного бетона и длительности огневого воздействия.

Температуру нагрева свыше 200°C в зависимости от изменения физического состояния бетона или его химического состава можно определить методом термического анализа [13,14].

Во время затяжных пожаров с высокой плотностью теплового потока возможно оплавление некоторых составляющих бетона [15]. Практика исследования пожаров, в части восстановления температурных режимов горения показывает, что при температуре 1100 - 1150°C происходит оплавление керамзита, при 1300 - 1500°C полевых шпатов, входящих в состав гранитного заполнителя; при 1700 - 1710°C - кремнезема; при 2000 - 2050°C - глинозема. На развитие термической эрозии бетона существенное влияние оказывает огневое воздействие с высокими 400 - 800°C, а еще большее - умеренно яркими температурами 800 - 1200°C. Во время огневого воздействия со сверхвысокими температурами (более 2000°C) огневая эрозия бетона принимает катастрофический характер. Это явление происходит вследствие плавления не только тугоплавких, но и огнеупорных составляющих бетона. Следовательно, по следам термической эрозии бетона можно судить о степени нагрева бетона после пожара.

Для определения температур пожара, воздействующих на несущие железобетонные конструкции, характерными являются признаки, свидетельствующие о состоянии бетона, арматуры и железобетонных конструкций после огневого воздействия. Признаки, определяющие температуру нагрева бетона, описаны выше. Рассмотрим признаки, характеризующие температуру нагрева арматурных стержней железобетонных конструкций.

Арматура железобетонных конструкций с защитным слоем бетона не менее диаметра рабочего стержня в условиях кратковременного пожара (0,5 - 2 ч) нагревается до 200 - 800°C. При отколах защитного слоя бетона в начальной стадии пожара температура нагрева арматуры значительно выше (1000 - 1200°C). При температуре более 1300°C арматурная сталь считается пережженной.

Максимальные температуры на поверхности железобетонных конструкций, получивших повреждения при пожаре, ориентировочно можно принимать по данным таблицы 1.

По представленной в таблице 1. классификации повреждений конструкций, можно оценить состояние конструкций по степени их поврежденности, признаки которых рассмотрены в таблице 2.

Таблица 1. Классификация повреждения конструкций в зависимости от длительности воздействия максимальных температур

Повреждения конструкций	Максимальные температуры, °С, при длительности огневого воздействия, ч		
	0,1 - 0,5	0,5 - 2	2,1 - 6
Слабые	500 (+50)	400 (±50)	300 (±50)
Средние	700 (±100)	600 (±50)	500 (±50)
Сильные	1000 (±100)	800 (±100)	700 (±100)
Аварийные	-	1200 (±100)	1000 (±100)
Разрушительные	-	Более 1300	Более 1200

Примечания: 1. Данные о максимальных температурах огневого воздействия по участкам здания следует принимать с учетом поправок на наличие и характер тепловода при пожаре. 2. Температуру нагрева продуктов горения, омывающих конструкции зданий, могут характеризовать следующие температуры плавления несгоревших материалов: парафина 40-60, полистирола, полиэтилена 100-130, каучука 125, полиуретана 180, олова 232, нейлона и лавсана 250°С.

Таблица 2. Признаки степени повреждения конструкций

Степень повреждения	Характеристика повреждения
Слабая	Повреждения, не снижающие несущей способности конструкций: наличие следов сажи и копоти; шелушение отдельных слоев поверхности бетона, незначительные сколы бетона.
Средняя	Повреждения, снижающие несущую способность конструкций: изменение серого цвета бетона до розового и буро-желтого; элементы полностью покрыты сажой и копотью; наличие скола бетона по углам; обнажение арматурной сетки на плоских элементах площадью около 10%; обнажение угловой арматуры в элементах прямоугольной формы, отделение наружных слоев бетона без их обрушения (при простукивании прослушивается глухой звук); трещины шириной до 0,5 мм.
Сильная	Повреждения, значительно снижающие несущую способность конструкций: сколы бетона - до 30% сечения элемента; обнажение арматурной сетки в плоских элементах на площади более 10%; обнажено до 50% рабочей арматуры прямоугольных элементов; выпучен один стержень арматуры элемента; отвалились поверхностные слои бетона, звук оставшихся слоев - глухой; трещины шириной до 1 мм.
Разрушительная	Повреждения, свидетельствующие о критическом состоянии конструкций: цвет бетона - бледно-серый; сколы бетона - от 30 до 50% площади сечения элемента; обнажено до 90% арматуры; выпучилось более одного стержня арматуры; нарушена анкеровка, сцепление арматуры с бетоном; нагрев арматуры свыше 300°С; отрыв закладных и опорных деталей; зыбкость конструкции; прогибы свыше 1/50 пролета; трещины шириной более 1мм.

На длительность пожара влияют удельная масса и вид горючей загрузки, скорость выгорания сгораемых материалов, интенсивность введения огнетушащих средств. Длительность огневого воздействия на строительные конструкции здания определяют по стадии интенсивного горения.

Рассмотрим на примере как можно восстановить события происшедшего пожара на основе натурального обследования поврежденных конструкций.

Длительность натурального пожара в подвале (в зоне пожарной нагрузки), выполненного из сборного железобетона (рис. 1.), составляла 2 часа (120 мин). По результатам натурального освидетельствования подвального помещения после пожара установлены участки повреждения огнем железобетонных конструкций перекрытия. Каждому участку здания соответствовала своя интенсивность огневого воздействия (рис. 2). Максимальные температуры по зонам: в очаге горения 1 000°С, в зонах высокой, средней и слабой интенсивности огня соответственно 900, 400 и 200°С. Необходимо определить длительность натурального пожара, по участкам здания, приведенную к эквивалентному.

Решение. Определим температуру стандартного пожара

t_c при продолжительности натурального пожара $\tau_c = 120$ мин;

$$t_c = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau_c + 1) - t_n = 1020^\circ\text{C},$$

где t_n – температура в помещении до пожара.

Тогда отклонения фактических температур от эквивалентного температурного режима по зонам интенсивности

$$\Delta t_1 = t_1 - t_c = 1000 - 1020 = -20^\circ\text{C}.$$

Поскольку абсолютное значение этой разницы не превышает допустимого отклонения $\pm 25^\circ\text{C}$, то считается, что фактический температурный режим эквивалентен стандартному пожару. Значения температур во 2, 3 и 4-й зонах соответственно равны 120, 620 и 820°С.

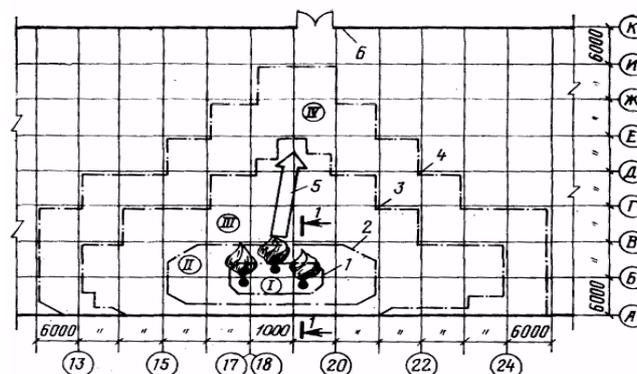


Рис. 1. Зоны интенсивности огневого воздействия в подвальном помещении и участки железобетонных конструкций по степени повреждения огнем

I - аварийная зона конструкций перекрытия; II - участок сильных повреждений конструкций перекрытия; III и IV - участки средних и слабых повреждений конструкций перекрытия; 1-4 - границы температур по низу плит перекрытия соответственно 1 000; 900; 400 и 200°С; 5 - направление движения продуктов горения; 6 - въездные ворота в подвал.

Длительность огневого воздействия, приведенная к эквивалентной в очаге горения при $\Delta t = -20^\circ\text{C}$, равна

$$\tau_{c1} = \tau_\phi = 120 \text{ мин, так как } \Delta t = -20 < \Delta t_{дон} = -25^\circ\text{C}.$$

В этом случае длительность натурального пожара к эквивалентному по зонам здания приводят по формуле:

$$\tau_c = \left[1 + \Delta t (0,2 \Delta t^{-1} + 10^{-3}) \right] \cdot \tau_\phi.$$

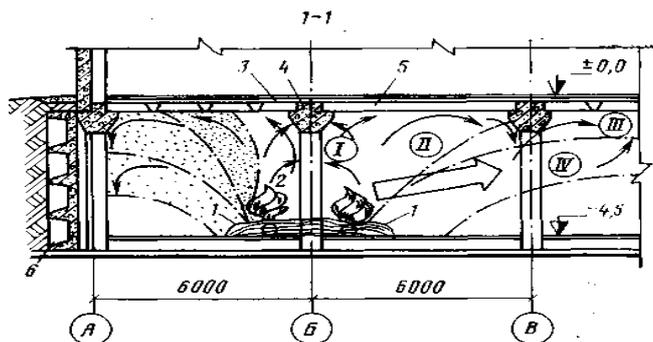


Рис. 2. Зоны огневого воздействия по высоте подвального этажа на строительные конструкции (разрез 1-1 по оси 19, см. рис. 1).

I - зона горения; II, III, IV - соответственно зоны высокой, средней и слабой интенсивности огневого воздействия; 1 - место горения масла ($S = 40 \text{ м}^2$, $M = 1500 \text{ кг}$); 2 - железобетонные колонны сечением $0,6 \times 0,5 \text{ м}$ высотой 4 м ; 3 - сборные ненапряженные железобетонные ребристые плиты покрытия размером в плане $1,5 \times 5,5 \text{ м}$; 4 - сборные ненапряженные железобетонные ригели перекрытия; 5 - металлический настил; 6 - железобетонные стены подвала.

Найдем приведенную длительность пожара в зонах высокой, средней и слабой интенсивности огневого воздействия

$$\tau_{c2} = \left[1 - 120 \cdot \left(0,2 \cdot 120^{-1} + 10^{-3} \right) \right] \cdot 120 = 82 \text{ мин};$$

$$\tau_{c3} = \left[1 - 620 \cdot \left(0,2 \cdot 620^{-1} + 10^{-3} \right) \right] \cdot 120 = 22 \text{ мин};$$

$$\tau_{c4} = \left[1 - 820 \cdot \left(0,2 \cdot 820^{-1} + 10^{-3} \right) \right] \cdot 120 = 0 \text{ мин}.$$

Выполненный расчет показал, что по характерным признакам на строительных конструкциях подверженных температурному воздействию можно определить не только величину температуры действовавшей на конструкции, но и время воздействия опасных факторов пожара. Достоверная и обоснованная оценка технического состояния строительных конструкций поврежденных пожаром позволяет восстановить события произошедшего пожара, принять правильные решения по восстановлению эксплуатационных качеств зданий и сооружений. Получив значения температур и длительности воздействия уточняем их влияние на характеристики материалов конструкции (см. табл. 1, 2).

УДК 624.011.1:539.4

Найчук А.Я., Захаркевич И.Ф.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Долговечность деревянных конструкций зависит от качества проектирования, условий изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации. Нарушения требований нормативных документов на любой из стадий, а равно как и их несовершенство, приводит к образованию повреждений и их развитию в процессе эксплуатации. Свидетельством этому являются результаты обследований деревянных конструкций.

При обследованиях нами трехшарнирных арок на таких объектах, как тренировочный манеж «Стайки», легкоатлетический манеж в г.Гомеле, дворец спорта «Грудовые резервы»,

павильон аэропорта «Минск-2», крытый каток в г.Новополоцке и других, в опорных и коньковых узлах были обнаружены поверхностные и сквозные трещины длиной от нескольких сантиметров до нескольких метров. Длительные наблюдения за поведением указанных дефектов показали, что они имеют тенденцию к развитию, как по длине, так и глубине сечения, и зависят от вида напряженного состояния. Аналогичные результаты были получены при обследованиях зданий и сооружений с металлодеревянными арками типа МДА, гнутоклееными рамами типа ДГР, рамами с зубчатый

Найчук Анатолий Яковлевич, кандидат технических наук, директор Филиала унитарного предприятия «Институт БелНИИС» - «Научно-технический центр».

Беларусь, НТЦ, г. Брест, ул. Московская, 267.

Захаркевич Иван Филиппович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ройтман М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле. Под ред. Стрельчука Н.А. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1975. - 525с.
2. Зернов С.И., Россинская Е.Р. Естественно-научные и правовые аспекты комплексных экспертиз по делам о пожарах//Современное состояние и перспективы развития новых видов судебной экспертизы: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИСЭ МЮ СССР, 1982.
3. Якимук В.П. Применение математических методов в пожарно-технической экспертизе строительных конструкций//Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: Материалы V Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов. - Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2002.- с. 140.
4. Якимук В.П., Кулинич В.Г. О математическом моделировании развития пожара в здании с целью экономического обоснования противопожарных мероприятий//Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тез. докл. Международ. науч.-практ. конф. Ч.I/ Под общ. ред. В.И.Сенько. - Гомель: БелГУТ, 2003.- с. 291-292.
5. Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров. - М.: Стройиздат, 1996.
6. Федотов А.И., Ливчиков А.П., Ульянов Л.Н. Пожарно-техническая экспертиза. - М.: Стройиздат, 1986.
7. Маковкин А.В., Кабанов В.Н., Струков В.М. Проведение экспертных исследований по установлению причинно-следственной связи аварийных процессов в электросети с возникновением пожара. - М.: ВНКЦМВД СССР, 1990.
8. Зенков Н.И. Строительные материалы и поведение их в условиях пожара. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1974. - 176 с.
9. Некрасов К.Д., Жуков В.В., Гуляева В.Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур. - М.: Стройиздат, 1972. - 128 с.
10. Сычев В.М., Жуков В.В. Огнестойкость строительных конструкций. - М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1976. - 60 с.
11. Исследования в области жаростойкого бетона. - М.: Стройиздат, 1981. - 110 с.
12. Макагонов В.А. Бетон в условиях высокотемпературного нагрева. - М.: Стройиздат, 1979. - 87 с.
13. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. - М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.
14. Преображенский В.А. Теплотехнические измерения и приборы. - М.: Энергия, 1978. - 703 с.
15. Рекомендации по натурным обследованиям железобетонных конструкций. - М.: НИИЖБ, 1972. - 77 с.