

# ЭКСПЕРТНЫЕ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗДАНИЙ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ОЧАГА ПОЖАРА

**Л.В. Дашко,**

научный сотрудник ФГКУ  
«Экспертно-криминалистический центр»  
МВД России

**Г.В. Плотникова,**

доцент кафедры пожарно-технической  
экспертизы ФГКОУ ВПО ВСИ МВД России,  
кандидат химических наук, доцент

**В.Ф. Гольчевский,**

начальник кафедры автотехнической  
экспертизы и автоподготовки ФГКОУ ВПО  
ВСИ МВД России,  
кандидат технических наук, доцент

*Методы термического анализа направлены на фиксацию физико-химических свойств вещества в процессе температурных воздействий и основаны на измерении тепловых эффектов и определении изменения массы, происходящих при химических и физических превращениях под влиянием тепла в химических соединениях или между химическими соединениями. Методом термического анализа были проведены исследования свойств цементного камня после теплового воздействия. Образцы цементного камня отжигались при температурах от 200 °С до 1000 °С. В результате исследований были получены термогравиметрические кривые (ТГ) и результаты дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Установлена закономерность в изменении свойств цементного камня, которая позволяет дифференцировать степень и продолжительность термического воздействия на образцы.*

*Thermal analysis methods are aimed at fixing the physico-chemical properties of the substance in the process of temperature effects and is based on measurement of thermal effects and determining the change in mass that occurs when the chemical and physical transformations under the influence of heat in chemical compounds or between chemical compounds. By the method of thermal analysis study of the properties of cement stone after heat exposure. Samples of cement were annealed in order at temperatures from 200 °C to 1000 °C. The studies were obtained thermogravimetric curves (TG) and the results of differential scanning calorimetry (DSC). Set the regularity of the properties of the cement stone, which allows to differentiate the degree and duration of the thermal exposure of the samples\*.*

Одной из главных причин гибели людей при пожаре и увеличение ущерба является обрушение строительных конструкций зданий и сооружений. В результате воздействия высоких температур при пожаре, происходит изменение физико-механических свойств строительные

---

\* Dashko L., Plotnikova G., Golczewski V. Expert fire-technical studies construction materials of the buildings in the establishment of the fire

материала и конструкций в целом. При производстве пожарно-технической экспертизы и определении очага пожара и путей его распространения зачастую необходимо определить температуру на участках поврежденных в результате теплового воздействия пожара строительных конструкций. Материалы, из которых изготовлены строительные конструкции и оборудование, оказавшиеся в зоне воздействия высоких температур, претерпевают различные изменения. Эти изменения сопровождаются характерными признаками, которые выражаются в виде изменения физических, химических и механических свойств веществ и материалов, в развитии деформации, разрушении или в полном уничтожении (выгорании) частей здания. Уцелевшие при пожаре строительные конструкции, вещества и материалы, зафиксировавшие на себе воздействие температуры, выступают в качестве естественных термоиндикаторов. Некоторые естественные термоиндикаторы обладают свойствами «запоминать» температуры по сечению, длине и высоте строительных конструкций. К ним относятся распространенные строительные материалы – бетон, дерево, пластмассы. Одним из самых распространенных строительных материалов является бетон. Поскольку бетон является композиционным материалом, его поведение при нагреве зависит от поведения цементного камня, наполнителя и их взаимодействия.

К свойствам, характеризующим поведение строительных материалов в условиях пожара, относят способность материалов реагировать на воздействие внешних и внутренних факторов: силовых, влажностных, температурных и др. Все свойства материалов взаимосвязаны и зависят от вида, состава и строения материала [1].

Одним из востребованных на сегодняшний день направлений при производстве пожарно-технической экспертизы является исследование воздействия высоких температур на строительные конструкции, в частности, изготовленные на основе цементных смесей и их производных, таких как бетон.

Во время пожара при нагреве свыше 150–200 °С бетон и железобетонные конструкции начинают разрушаться и чем выше температура и длительность воздействия, тем больше степень разрушения. Происходит это вследствие постепенной дегидратации (удаления физически, а затем и химически связанной воды) цементного камня, неравномерного теплового расширения отдельных ингредиентов, входящих в состав бетона, и некоторых других процессов.

Процесс разрушения бетона не очень хорошо заметен визуально вплоть до температур нагрева, соответствующих 700–800 °С, когда процесс дегидратации полностью завершается и бетон просто начинает осыпаться, что в последствии приводит к снижению несущей способности бетонных и железобетонных конструкций, оголению арматуры и в дальнейшем к их

полному разрушению. Хотя бетон и относится к числу огнестойких материалов по причине сравнительно высокой теплопроводности и кратковременное воздействие высоких температур не оказывает существенного влияния на его свойства, но при увеличении степени и продолжительности прогрева в бетоне происходят необратимые изменения [2, 3]. Определение температуры нагрева бетонных конструкций на отдельных участках позволит эксперту с высокой степенью достоверности определить очаг пожара и пути его развития.

В связи с тем, что дела о пожарах относятся к категории особо сложных, при производстве пожарно-технической экспертизы используются различные методы исследований, позволяющие оценить высокотемпературное воздействие на строительные материалы и изделия, находившиеся в зоне теплового воздействия. Например, оценка нагрева бетона на пожаре проводится на основании изменения пористости бетона при увеличении температуры. С этой целью после пожара отбираются пробы бетона, подвергавшегося нагреву, с поверхности и из внутренних слоев конструкции, а также того же бетона, не подвергавшегося тепловому воздействию. Эти пробы бетона нагревают при разных температурах и определяют соответствующую им пористость. Затем определяют пористость бетона, нагревавшегося при пожаре, и по полученной эмпирической зависимости пористости от температуры нагрева определяют температуру нагрева бетона при пожаре. Тепловые нагрузки до 300 °С снижают прочность бетона на 10-20%, а при температуре 300–450 °С снижение прочности возрастает еще больше. Считается, что результаты замера микротвердости объективно характеризуют состояние бетона при нагреве. Сопоставление температур нагрева образцов бетона экспертами после пожара по результатам физико-химических анализов, показало удовлетворительную сходимость данных, полученных на месте пожара и при исследовании образцов в лаборатории, где температура была точно зафиксирована.

При исследовании бетона можно использовать метод инфракрасной спектроскопии, так как он позволяет получить обширную информацию не только о форме связанной воды в бетоне, но и по изменениям в состоянии силикатных и сульфатных фаз и об интенсивности тепловой нагрузки. Рекомендуются также использование метода рентгенографии для выявления изменений в бетоне под влиянием термического воздействия. Хорошими показателями состояния бетона являются количество гидратной воды и потеря массы по термограммам (в основном за счет гидратной воды).

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. В зоне интенсивного горения с температурами более 800°C сильной закопченности 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. Конструкции, находившиеся под воздействием повышенных и высоких температур (до 700 °C), можно определить по изменению скорости распространения ультразвука при известной прочности поврежденного бетона и длительности огневого воздействия [4].

Одним из основных требований, которые предъявляются к техническим средствам, используемым при расследовании преступлений, является обеспечение сохранности источников доказательственной информации, но использование неразрушающих методов исследования не всегда возможно.

Использование методов термического анализа, направленных на фиксацию физико-химических свойств вещества в процессе температурных воздействий, позволяет исследовать микроколичества изъятых с места пожара вещественных доказательств. Термический анализ имеет ряд преимуществ перед другими методами исследований – гибкость постановки эксперимента, одновременное получение нескольких характеристик материала, быстрое снятие информации, возможность автоматизации при обработке данных, использование малого количества вещества, что позволяет сохранить вещественное доказательство.

Методы термического анализа основаны на измерении тепловых эффектов и определении изменения массы вещества при химических и физических превращениях в химических соединениях или между химическими соединениями под влиянием тепла. При исследовании веществ, подвергшихся термическому воздействию при пожаре, с помощью данного метода возможно теоретическое моделирование температурных режимов, оценка температуры нагрева вещества и времени теплового воздействия. Полученные таким образом данные о степени термического поражения можно использовать для выявления температурных зон пожара или преимущественного направления

воздействия теплового потока [5–7] с целью определения очага пожара и причины его возникновения.

Специалистами ФГКУ ЭКЦ МВД и ФГКОУ ВПО «Восточно-Сибирский институт МВД России» были проведены исследования изменения прочностных свойств бетонных конструкций под воздействия высоких температур.

Исследования образцов цементного камня (рис. 1–3), являющегося основным компонентом бетона, методом совмещенного термического анализа (СТА), показали, что при температуре до 100 °С происходит значительное высвобождение несвязанной воды, от 100 до 200°С происходит отщепление молекулы воды, находящихся в виде гидратов неорганических солей, большей частью карбонатов. На третьем этапе, в интервале температур от 200 до 400 °С потеря массы и, как следствие, постепенное снижение прочности цементного камня связано большей частью с процессами дегидратации гидроалюминатов, а также распада и перекристаллизации гидросульфалюминатов кальция. На четвертом этапе, начиная с 410 °С происходит дегидратация гидроксида кальция,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



Рис. 1-2 – образцы цементного камня, подвергшиеся тепловому воздействию при температурах 700 °С и 1000 °С

На пятом этапе при температуре 500–600 °С преимущественно идет разложение трехкальцевого силиката, что способствует дальнейшему снижению прочности цементного камня. При температуре 650–700 °С начинается разложение карбонатов.

При исследовании результатов, полученных методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), выявлена схожая закономерность, различие заключается только в величине экзотермического эффекта, обусловленного дегидратацией гидроксида кальция. Наличие на термограмме ДСК-сигнала эндотермического пика ( $T=568,73$  °С) обусловлено структурным переходом ( $\alpha \rightarrow \beta$ ) оксида кремния. При этом отмечается, что величина этого сигнала позволяет определить количественное содержание оксида кремния (песка) в смеси.

Для оценки температурного воздействия в зависимости от степени и продолжительности нагрева проведены исследования образцов цементных смесей, отожженных при температуре от 200 °С до 1000 °С в течение 15, 30 и 60 мин. Полученные результаты термогравиметрических измерений образцов цементной смеси в зависимости от времени и температуры отжига свидетельствуют о том, что в образцах, отожженных при 200 °С и 300 °С, потеря массы происходит за счет разрушения гидроалюминатов и силикатов, гидроксидов, карбонатов, вклад гидратов солей – незначительный. В образцах отожженных при температурах 400–600 °С основная потеря массы происходит в основном из-за разложения неорганических солей, и в меньшей степени из-за гидроксидов и дегидратации гидроалюминатов. В образцах, отожженных при 800 °С и 1000 °С, потеря массы сопряжена с разложением карбонатов. В смесях отожженных в течение 15 и 60 мин, наименьшую потерю массы имеют образцы отожженные при 1000 °С. Наибольшая потеря массы наблюдается для образцов, подвергшихся температурному воздействию от 200 °С до 500 °С.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Термический анализ имеет ряд преимуществ перед другими методами исследований: гибкость постановки эксперимента, одновременное получение нескольких характеристик материала, быстрое получение информации, возможность автоматизации при обработке данных, использование малого количества вещества, что обеспечивает сохранность вещественного доказательства.

2. Сравнение результатов, полученных методом термического анализа, с другими методами исследования показывает, что:

- молоток Кашкарова можно использовать только при проведении сравнительного анализа степени термического воздействия на образец и выявления зон, подвергавшихся более высокому термическому воздействию;

- при увеличении степени термического повреждения образцов уменьшается скорость прохождения ультразвуковых волн через образец. На время прохождения УЗ-волн также существенно влияет продолжительность отжига образца.

3. Применение методов термического анализа при производстве пожарно-технических исследований позволяет помимо определения температуры и продолжительности нагрева бетонных конструкций с целью определения очага пожара, определять соотношение компонентов в цементной смеси, начало и степень их разложения, наличие веществ, обладающих огнестойкостью, остаточную массу образца в зависимости от времени и температуры прогрева, и других факторов, влияющих на свойства строительных материалов и их поведение во время пожара.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Интернет-ресурс: <http://garantpb.ru/articles/4/>. Поведение бетонных конструкций при пожаре/Дата запроса 10.11.2014 г.
2. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
3. Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара. М.: НИИЖБ ИТБ. 1985. С. 114.
4. Дашко Л.В., Синюк В.Д., Ключников В.Ю., Плотникова Г.В. Экспертное исследование цементного камня, подвергнувшегося высокотемпературному нагреву // Вестник ВСИ МВД РФ. № 2. Иркутск. 2013.
5. Ключников В.Ю., Дашко Л.В., Плотникова Г.В. Использование методов термического анализа при производстве пожарно-технических экспертиз. Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 7.
6. Дашко Л.В., Ключников В.Ю., Плотникова Г.В. Использование методов синхронного термического анализа для исследования углей при производстве пожарно-технической экспертизы. Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 7.
7. Дашко А.В., Довбня А.В., Ключников В.Ю., Плотникова Г.В. Применение методов термического анализа при исследовании влияния температуры на фрикционную основу тормозных колодок автомобиля. Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 6.