

С. В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой техносферной безопасности, Ивановский государственный политехнический университет (Россия, 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20; e-mail: prezident@ivgpu.com)

Н. Ф. ЛЕВАШОВ, водитель, 1683-й отдельный батальон материального обеспечения 98-й гвардейской воздушно-десантной дивизии МО РФ (Россия, 153000, г. Иваново, м. Балино); адъюнкт кафедры пожарной безопасности объектов защиты, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: irisacareva@rambler.ru)

М. В. АКУЛОВА, д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, заведующая кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов, Ивановский государственный политехнический университет (Россия, 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20; e-mail: m_akulova@mail.ru)

О. В. ПОТЕМКИНА, канд. хим. наук, доцент, заместитель начальника по учебной работе, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: molodkina@mail.ru)

С. Н. ЖИВОТЯГИНА, канд. хим. наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности объектов защиты, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: jivotjagina@mail.ru)

УДК 624.01+614.8

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ С СИЛИКАТНЫМИ ДОБАВКАМИ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Приведены результаты использования комплексной методики анализа поведения цементных составов, содержащих силикатные добавки, в условиях высокотемпературного нагрева. В ходе эксперимента расширены условия испытаний, принятые в стандартных методиках по оценке высокотемпературных воздействий на цементные составы. К общепринятым методикам добавлены исследования термохимических свойств на уровне структурообразования исследуемых образцов. Проведена корреляция результатов, полученных разными методами. Показано, что при динамичном высокотемпературном нагреве цементного камня происходит его разложение на различные химические составляющие, формируется структура композиционных вяжущих в процессе гидратации, а также улучшается ряд теплофизических свойств цементных составов, содержащих силикатные добавки.

Ключевые слова: комплексная методика; высокотемпературный нагрев; цементные композиты; силикатные добавки; дифференциально-термический анализ; коэффициент теплопроводности.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.14-21

Для всестороннего научного изучения поведения негорючих строительных материалов в условиях воздействия высоких температур, близких к условиям протекания стандартного пожара (ГОСТ 30247.0–94), применяются все новые методы, основанные на современных достижениях физики, физической химии и электроники. Благодаря таким методам, как рентгеноструктурный анализ, термический анализ неорганических соединений, испытание строительных конструкций на огнестойкость и др., появляется воз-

можность более глубокого изучения физико-химических и физико-механических превращений (ГОСТ 30247.0–94, [1–3], приводящих к изменению состояния и свойств материалов при их высокотемпературном нагреве, а также оценки поведения конструкций при пожаре. Данные исследования позволяют еще на один шаг приблизиться к объективному прогнозированию поведения строительных конструкций, выполненных на основе неорганических вяжущих в условиях реального пожара.

© Федосов С. В., Левашов Н. Ф., Акулова М. В., Потемкина О. В., Животягина С. Н., 2016

Анализ существующих методик по определению огнестойкости и термостойкости [4–9] показал, что они учитывают только некоторые свойства материалов и поэтому носят односторонний характер. Этим обуславливается необходимость разработки методов комплексного анализа поведения материалов при повышенных температурах в строительных конструкциях для всесторонней оценки пожарной опасности строительных материалов и огнестойкости строительных конструкций. Для более точного и детального описания и прогнозирования поведения цементных композитов на всех стадиях высокотемпературного воздействия нужно объединить исследования их фазового состава, физико-химических и термохимических свойств [10, 11]. Кроме того, существует определенная необходимость в совершенствовании подходов и методов расчетной и экспериментальной оценки поведения цементных составов и конструкций на их основе. Актуальность проведения данных исследований состоит в том, что впервые появится возможность по их результатам определить вероятность, вид и скорость прогрева и потери прочности строительных материалов, а значит, и время наступления предельного состояния железобетонных конструкций без применения дорогостоящих натуральных испытаний по определению их пределов огнестойкости.

Целью настоящей работы является разработка комплексной методики анализа поведения строительных материалов в процессе нагрева и ее применение для исследования влияния различных компонентов смеси на поведение цементных композитов с силикатными добавками в условиях воздействия высоких температур. Комплексная методика представляет собой совокупность методов по оценке поведения цементных составов как на макро-, так и на микроуровне. В предлагаемой методике предусматривается использовать совокупность методов, объединяющих расчетные методы огнестойкости железобетонных конструкций, методы тонкого анализа и методы, основанные на определении теплофизических, физико-механических и термохимических характеристик. Такой подход должен обеспечить всесторонний анализ поведения бетонных и железобетонных конструкций при пожаре без дорогостоящих натуральных испытаний.

В рамках комплексной методики проводилось исследование поведения разных цементных составов, содержащих силикатные добавки, при нагреве различными способами. При этом определялось изменение массы (потери массы) материалов и их плотности; наличие и продолжительность пламенного горения; теплофизические характеристики — скорость изменения температуры в глубине материала, коэффициент теплопроводности и коэффи-

циент термического сопротивления на установках ОГНМ (ГОСТ 12.1.044–89) и ИТСМ-1 (ГОСТ 7076–99); изменение фазовой структуры материалов на дифференциально-термическом анализаторе “Thermoscan-2”.

Для проведения исследований были подобраны шесть составов различных цементных композиций, содержащих силикатные добавки и имеющих улучшенные теплофизические характеристики [12]. Составы материалов приведены в табл. 1 [13].

Первоначально определялось изменение физических характеристик материалов под влиянием температурной нагрузки (ГОСТ 12.1.044–89, [13]) — массы цементных композитов и их плотности до начала и после испытаний. Параллельно с помощью термопар, установленных на поверхности и в глубине образцов, определялось изменение их теплофизических характеристик. Для этого образцы материалов помещали в печь и прогревали при температуре 750 °С в течение 30 мин, фиксируя значения этих показателей с заданной периодичностью 15 мин. Данные изменения температуры, массы и плотности при нагреве в зависимости от состава цементного композита приведены в табл. 2.

Таблица 1. Цементные составы, используемые при проведении исследований

Номер состава	Содержание компонента, % масс.					
	Цемент	Песок	Вода	Минеральная вата	Жидкое стекло	Бой стекла
1	29	57,0	14	–	–	–
2	29	56,8	14	0,2	–	–
3	29	56,8	14	–	0,200	–
4	29	56,8	14	–	–	0,20
5	29	57,0	14	–	0,004	0,02
6	29	56,8	14	0,2	0,007	–

Таблица 2. Зависимость изменения физических и теплофизических характеристик цементных композитов при нагреве от их состава

Номер состава	$T_{вн}/T_{сн}$ *, °С/мин, после нагрева		Устойчивое пламенное горение, с	Изменение показателя относительно контрольного образца, %	
	15 мин	30 мин		Снижение плотности	Потери массы
1	712/714	719/714	0	–	–
2	716/737	723/740	0	11	20
3	720/740	728/743	0	10,5	18
4	718/741	723/741	0	11,6	24
5	716/733	723/730	0	11,9	28
6	706/720	714/724	0	9,8	16

* $T_{вн}$, $T_{сн}$ — температура соответственно внутри и снаружи (на поверхности) образца.

Из представленных в табл. 2 данных видно, что наименьшая потеря массы при нагреве до 750 °С в течение 30 мин наблюдается у образца, содержащего в качестве добавок жидкое стекло и бой стекла (состав № 5), хорошая термостойкость — у образцов, содержащих минеральную вату (№ 2) и жидкое стекло (№ 3). Такое изменение массы показывает, что добавки термостойких материалов даже в небольших количествах снижают потери массы при нагреве на 20 %, при комбинации добавок боя стекла и жидкого стекла — до 28 %.

Плотность образцов в ходе нагрева изменялась практически так же, как и масса. Наибольший эффект, т. е. наименьшее изменение плотности, был отмечен у образца с комбинацией добавок жидкого стекла и боя стекла (состав № 5). Так, по сравнению с контрольным составом (№ 1) плотность у образца № 5 уменьшилась на 11,9 %, что свидетельствует о повышении его устойчивости к длительному прогреву при 750 °С.

На следующем этапе определялись теплофизические характеристики материалов при нагреве — наличие и продолжительность пламенного горения, изменение температуры во времени на поверхности и в глубине образцов, коэффициенты их теплопроводности и термического сопротивления. Наличие и продолжительность пламенного горения, изменение температуры во времени на поверхности и в глубине образцов (ГОСТ 12.1.044–89) определялись через 15 и 30 мин с начала их нагрева при температуре 750 °С. Полученные результаты представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Как показали результаты исследований, ни у одного образца в ходе эксперимента не наблюдалось устойчивого пламенного горения, что может характеризовать исследуемые материалы как негорючие (категория горючести НГ).

Анализ разницы температур снаружи и внутри образцов при нагреве в течение 30 мин показал, что после 15-минутного нагрева (см. рис. 1) самая большая разница температур наблюдается у образцов с добавкой боя стекла (№ 4) — 23 °С/мин, а также с добавкой минеральной ваты (№ 2) и жидкого стекла (№ 3) — 21 °С/мин. При этом контрольный образец без каких-либо добавок (№ 1) прогрелся полностью. На 30-й минуте самая большая скорость нагрева, как и на 15-й минуте, отмечена у образца с добавкой боя стекла (№ 4) — 18 °С/мин, затем у образцов с добавкой минеральной ваты (№ 2) и жидкого стекла (№ 3) — 17 °С/мин.

Оценка результатов по распределению температуры показывает, что в зависимости от добавок и их вида температура в образцах после их 30-минутного прогрева распределяется практически так же, как и потери массы. Данные по распределению тем-

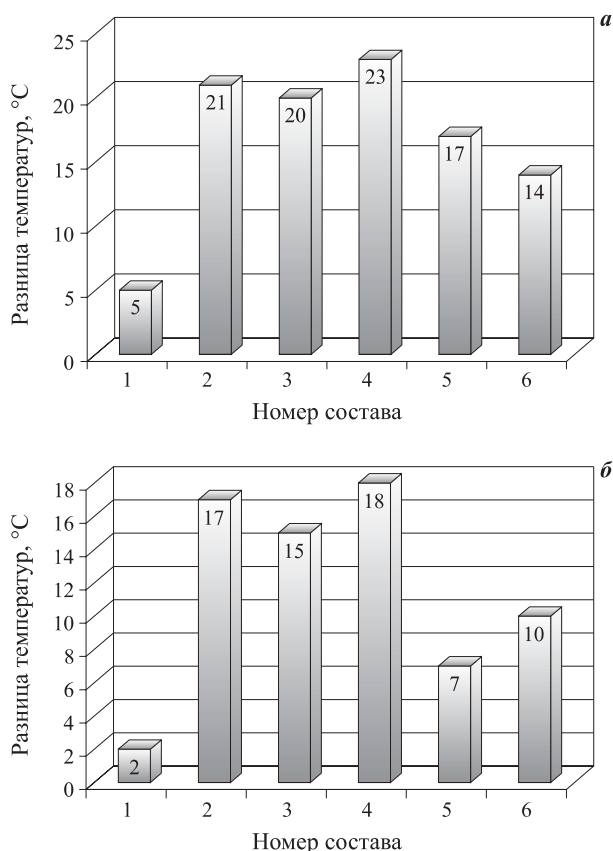


Рис. 1. Зависимость изменения температуры внутри цементного камня от вида добавки при 15-минутном (а) и 30-минутном (б) нагреве при температуре 750 °С

пературы в образцах коррелируются с данными по потере массы, что подтверждает результативность предложенной методики комплексного анализа и оценки свойств цементных композитов на макроуровне. Таким образом, использование установки для испытаний материалов на негорючесть позволило обеспечить объективную оценку и анализ скорости прогрева цементных образцов и теплофизических свойств материала.

Для дополнения результатов, полученных в ходе первого испытания, были проведены исследования теплофизических характеристик — коэффициента теплопроводности и коэффициента термического сопротивления, которые являются важнейшими свойствами, характеризующими поведение цементных композитов в условиях высоких температур. Данные коэффициенты используются в теплотехническом расчете огнестойкости при определении временного параметра, характеризующего момент наступления потери теплоизолирующей способности конструкции. Исследование по определению коэффициента теплопроводности и коэффициента термического сопротивления разработанных составов цементных композитов с силикатными добавками проводилось на приборе ИТСМ-1 (ГОСТ 7076–99). Полученные данные представлены на рис. 2.

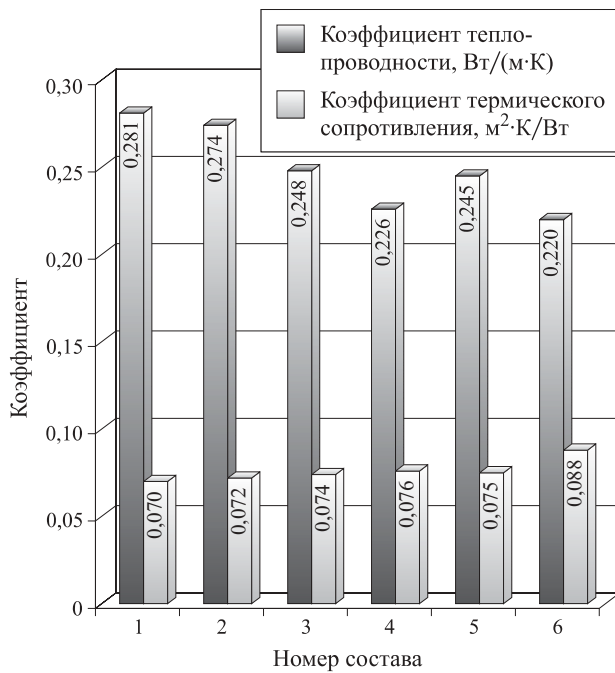


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента теплопроводности и коэффициента термического сопротивления цементного камня от вида добавки при нагреве при температуре 750 °С

Как видно из полученных данных, самый высокий коэффициент теплопроводности отмечается у контрольного образца без добавок (№ 1) — 0,281 Вт/(м·К), а самый низкий — у образца с комбинацией добавок минеральной ваты и жидкого стекла (№ 6) — 0,220 Вт/(м·К), что свидетельствует о повышении его теплоизолирующей способности при высокотемпературном нагреве на 20 %.

Исследование коэффициентов теплопроводности у образца с комбинацией добавок боя стекла и жидкого стекла (№ 5) и образца с добавкой жидкого стекла (№ 3) показало, что их теплопроводность на 13 % меньше, чем у контрольного образца. При сравнении изменения теплофизических характеристик с изменением физических и физико-механических свойств можно проследить определенную сходимость полученных результатов. При этом установлено, что цементные композиты с содержанием комплекса силикатных добавок проявляют наибольшую устойчивость при нагреве.

В рамках комплексной методики изучалось также влияние нагрева на структуру цементных композитов с различными добавками. Для изучения их структуры применялся дифференциально-термический метод исследования. Оценку влияния температурной нагрузки на структуру цементного камня проводили на установке для дифференциально-термического анализа (ДТА) “Thermoscan-2”. Нагрев осуществлялся до 1000 °С со скоростью 10 °С/мин. Испытания проводились на шести составах цемент-

ных композитов (см. табл. 1). Полученные результаты исследований представлены на графиках изменения температуры образцов относительно эталона Al_2O_3 (рис. 3).

На данных термограммах можно выделить три интервала падения температуры, наблюдаемые при эндотермических реакциях. Основой двух из них является испарение воды в различных состояниях — физически и химически связанной воды, вошедшей в структуру цементного камня при его твердении. Анализ данных, полученных при исследовании контрольного состава (№ 1), показывает, что первый плавный пик начинается при температуре 25 °С и заканчивается при температуре 350 °С; разница температур с эталоном (оксид алюминия) составляет 8 °С. При этом происходит испарение воды, содержащейся в порах цементного композита. Следующий температурный интервал начинается с 500 °С и заканчивается около 530 °С. Глубина этого пика находится в пределах 0,5 °С. Данный процесс можно объяснить испарением химически связанной воды из портландита, который входит в состав цементного клинкера. Следующий температурный интервал начинается с 840 °С и заканчивается в районе 870 °С. Глубина пика также небольшая — около 0,5 °С. На этом этапе нагрева цементного композита происходит испарение химически связанной воды, находящейся в основных минеральных соединениях цементного камня, вплоть до его конечной деструкции.

При добавлении в цементный композит минеральной ваты (образец № 2) первый пик становится более глубоким, что объясняется увеличением пористости камня. Следующий пик находится в тех же пределах, что и у контрольного образца без добавок (№ 1), а третий пик сильно отличается: сначала температура плавно опускается вниз, а затем резко поднимается на тот же уровень. Это можно объяснить тем, что минеральная вата препятствует быстрому испарению химически связанной воды, находящейся в основном минерале цементного камня, что повышает стойкость цементного композита при нагреве. У образца с добавкой жидкого стекла (№ 3) первый пик имеет такую же глубину, что и у контрольного образца (№ 1), но выражен более характерно. Это можно объяснить тем, что жидкое стекло предотвращает быстрое испарение воды из пор цементного камня. Следующие два пика менее выражены, чем у предыдущих образцов, что свидетельствует об устойчивости состава № 3 к высокотемпературному нагреву.

У образца, содержащего жидкое стекло и бой стекла (№ 5), отмечается наименьшее содержание физически связанной воды. Разница температур с эталоном (Al_2O_3) находится в пределах 17 °С. Сле-

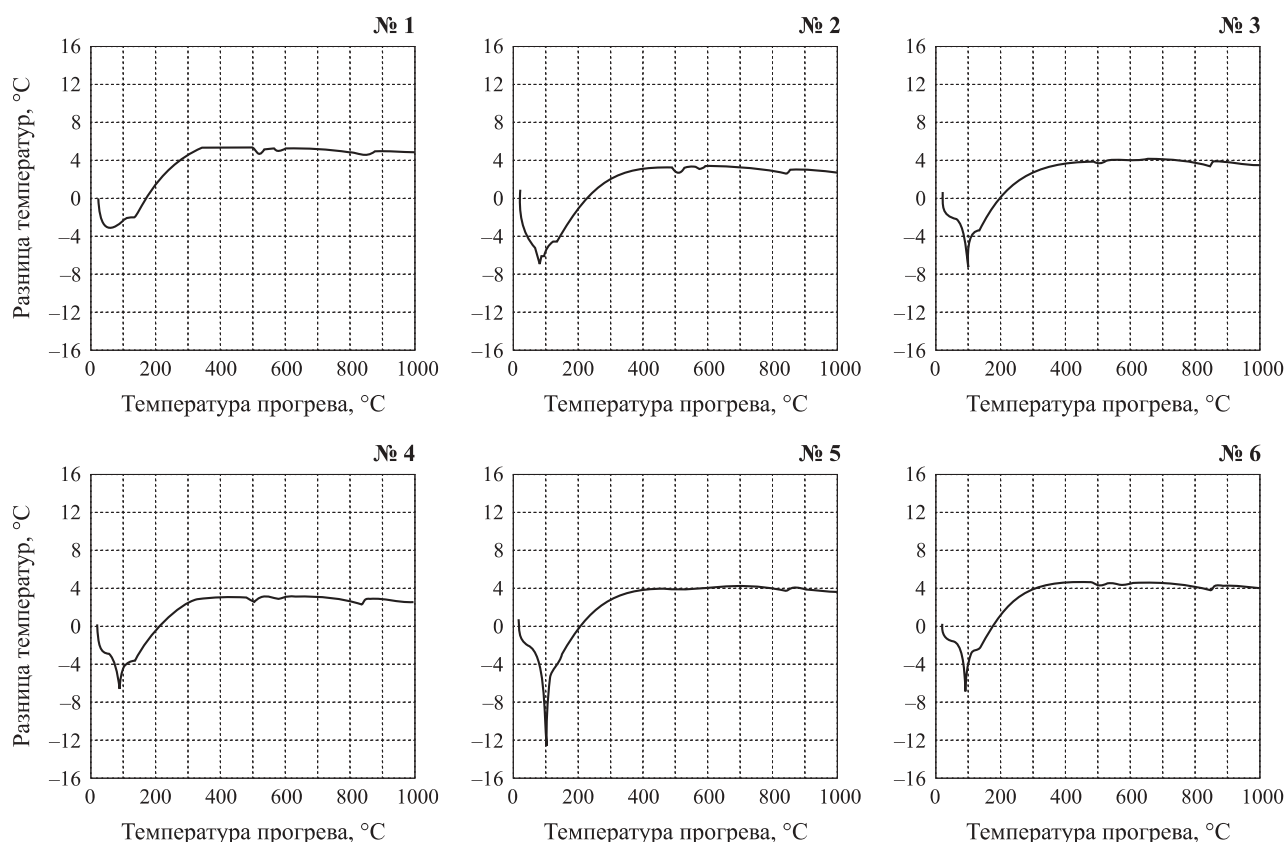


Рис. 3. Термограммы изменения температуры образцов цементного камня с добавками (составы № 2–6 по табл. 1) относительно эталона Al_2O_3 (состав № 1)

дующие два пика практически незаметны, что говорит о небольшом испарении химически связанной воды. Таким образом, исходя из полученных данных можно сказать, что данный состав имеет наиболее оптимальные теплофизические свойства относительно всех предыдущих. Следовательно, огнестойкость строительных конструкций на его основе в условиях пожара должна повыситься.

Добавление в цементный состав минеральной ваты и жидкого стекла приводит к разнице температур по сравнению с эталоном (Al_2O_3) порядка $11,5\text{ }^\circ\text{C}$, которая при последующем нагреве остается практически неизменной. Наблюдается еще два незначительных пика, как и на предыдущей термограмме.

В результате дифференциально-термического анализа можно сделать вывод, что силикатные добавки значительно улучшают теплофизические свойства цементных композитов при воздействии высоких температур. Все они в большей или меньшей степени препятствуют быстрому прогреву образцов,

что повышает устойчивость строительных конструкций на их основе в условиях пожара. Можно отметить, что комплексная методика по анализу поведения цементных композитов позволяет получать заключения по их термической стойкости без проведения дорогостоящих испытаний.

Таким образом, совокупность всех данных, полученных с помощью комплексной методики, показала, что составы образцов, включающие силикатные добавки, имеют высокие теплоизолирующие свойства. Применение комплексной методики анализа поведения цементных составов в условиях воздействия повышенных температур расширяет границы и возможности оценки пожарной опасности строительных материалов на основе цементных композитов. Кроме того, ее применение в совокупности с методикой расчета огнестойкости строительных конструкций [4] позволяет достаточно точно прогнозировать поведение строительных конструкций на основе различных цементных композитов в условиях пожаров различной сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006–2006). — М. : Стройиздат, 2008. — 131 с.
2. Рамачандран В. С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов / Пер. с англ. — М. : Стройиздат, 1977. — 408 с.

3. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под ред. Г. Брауна. — М. : Мир, 1965. — 600 с.
4. Левашов Н. Ф., Акулова М. В., Потемкина О. В. Применение методики расчета огнестойкости строительных конструкций для анализа влияния силикатных добавок в растворах на свойства защитного слоя арматуры // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 10. — С. 30–36. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.30-36.
5. Król Paweł A. Evaluation of the fire resistance of steel-beam floors // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza (Safety & Fire Technique). — 2014. — Vol. 35, Issue 3. — P. 73–96. DOI: 10.12845/bitp.35.3.2014.7.
6. Fike R. S., Kodur V. K. R. An approach for evaluating the fire resistance of CFHSS columns under design fire scenarios // Journal of Fire Protection Engineering. — 2009. — Vol. 19, Issue 4. — P. 229–259. DOI: 10.1177/1042391509105597.
7. Peng G. F. Evaluation of fire damage to high performance concrete. PhD thesis. — Hong Kong : The Hong Kong Polytechnic University, 2000.
8. Молчадский О. И. Прогноз пожарной опасности строительных материалов при использовании методов термического анализа : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВНИИПО МВД РФ, 2001. — 209 с.
9. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2001. — 496 с.
10. Топор Н. Д., Огородова Л. П., Мельчакова Л. В. Термический анализ минералов и неорганических соединений. — М. : МГУ, 1987. — 190 с.
11. Акулова М. В., Белякова Н. А., Коллеров А. Н., Потемкина О. В. Исследование физико-химических процессов формирования фазового состава жаростойкого штукатурного раствора с различными наполнителями и добавлением жидкого стекла // Пожарная безопасность. — 2013. — № 4. — С. 42–46.
12. Федосов С. В., Акулова М. В., Потемкина О. В., Емелин В. Ю., Петрова О. С. Влияние силикатных добавок в пенобетонах на огнестойкость конструкций // Научное обозрение. — 2013. — Вып. 11. — С. 36–41.
13. Патент 2471753 Российская Федерация. МПК С04В 38/10 (2006.01). Сырьевая смесь для получения пенобетона / Федосов С. В., Малый И. А., Ветошкин А. А., Акулова М. В., Потемкина О. В., Щепочкина Ю. А., Емелин В. Ю. — № 2011131595/03; заявл. 27.07.2011; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

Материал поступил в редакцию 3 июля 2016 г.

Для цитирования: Федосов С. В., Левашов Н. Ф., Акулова М. В., Потемкина О. В., Животягина С. Н. Применение комплексной методики анализа поведения цементных композитов с силикатными добавками при повышенных температурах // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 12. — С. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.14-21.

English

USING THE COMPLEX METHODOLOGY OF ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF CEMENT COMPOSITES CONTAINING SILICATE ADDITIVES AT ELEVATED TEMPERATURES

FEDOSOV S. V., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Head of the Department of Technosphere Security, Ivanovo State Polytechnical University (8 Marta St., 20, Ivanovo, 153037, Russian Federation; e-mail address: prezident@ivgpu.com)

LEVASHOV N. F., Driver, 1683rd Separate Battalion of Material Security 98th Guards Airborne Division of the Russian Federation Ministry of Defense (Balino Place, Ivanovo, 153000, Russian Federation); Adjunct of Fire Protection Facilities Department, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: irisacareva@rambler.ru)

AKULOVA M. V., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Adviser of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Head of Building Materials Production Department, Ivanovo State Polytechnical University (8 Marta St., 20, Ivanovo, 153037, Russian Federation; e-mail address: m_akulova@mail.ru)

POTEMKINA O. V., Candidate of Chemical Sciences, Docent, Deputy Head on Academic Work, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: molodkina@mail.ru)

ZHIVOTYAGINA S. N., Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer of Fire Protection Facilities Department, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: jivotjagina@mail.ru)

ABSTRACT

Nowadays new methods, based on the latest achievements of physics, physical chemistry and electronics, for a comprehensive scientific study of the behavior of building materials at elevated temperatures are used. The research of physical, chemical and physico-mechanical transformations, that can change the condition and properties of the material, and assessment of the behavior of building structures at elevated temperature can be provided with the help of X-ray analysis, thermal analysis, testing of building structures for fire resistance, and others.

The analysis of examined methods shows, that there are no active methods of complex analysis of the behavior of materials at elevated temperatures in structures. The available methods for determining fire resistance and thermal stability do not give a full assessment of fire danger of building designs and building materials. That is the reason of my research.

The aim of this work is to study the influence of different components of the mixture to the behavior cement composites containing silicate additives at elevated temperatures using a complex methodology of analyzing the behavior of cementitious compositions in the dynamics of heating and correlation of test results.

Research were conducted on heat-resistant cementitious compositions by three different methods. The behavior of cement composites, containing silicate additives, at elevated temperatures was analyzed using the complementarily of certain characteristics, and the settings which allow for testing of construction materials on the flammability, differential thermal analysis (DTA), as well as the measurement of thermal conductivity and the coefficient of thermal resistance.

At the end of the research based on complex methods, it was determined that in the process of heating of the cement stone it is decomposed into different chemical components, and the structure is formed of composite binder during the hydration process, improved a thermal properties of cement compositions containing silicate additives. However, in the case of usage any one method to determining the thermal and thermo-chemical properties the results were not always objective. Application of a complex method of analyzing the behavior of cement compositions at elevated temperatures gives the possibility of assessing the fire hazard of building materials based on cement composites. In addition of application of theoretical methods of calculating the fire resistance of building structures complex method allows to predict the behavior of building structures based on various cement composites under fires of varying difficulty.

Keywords: complex methodology; high-temperature heat; cement composites; silicate additives; differential thermal analysis; thermal conductivity coefficient.

REFERENCES

1. *Handbook for the calculation of the fire resistance of reinforced concrete structures and exposure to unexposed of heavy concrete* (STO 36554501-006–2006). Moscow, Stroyizdat, 2008. 131 p. (in Russian).

2. Ramachandran V. S. *Applications of differential thermal analysis in cement chemistry*. New York, Chemical Publication Co., 1969. 308 p. (Russ. ed.: Ramachandran V. S. *Primeneniye differentsialnogo termicheskogo analiza v khimii tsementov*. Moscow, Stroyizdat, 1977. 408 p.).
3. Brown G. (ed.). *X-ray methods of studying the structure and clay minerals*. Moscow, Mir Publ., 1965. 600 p. (in Russian).
4. Levashov N. F., Akulova M. V., Potemkina O. V. Using methodology of calculation of fire resistance of structures for analysis of influence silicate additives in solution at protective layer reinforcement properties. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 10, pp. 30–36 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.30-36.
5. Król Paweł A. Evaluation of the fire resistance of steel-beam floors. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza (Safety & Fire Technique)*, 2014, vol. 35, issue 3, pp. 73–96. DOI: 10.12845/bitp.35.3.2014.7.
6. Fike R. S., Kodur V. K. R. An approach for evaluating the fire resistance of CFHSS columns under design fire scenarios. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2009, vol. 19, issue 4, pp. 229–259. DOI: 10.1177/1042391509105597.
7. Peng G. F. *Evaluation of fire damage to high performance concrete. PhD thesis*. Hong Kong, The Hong Kong Polytechnic University, 2000.
8. Molchadskiy O. I. *Forecast fire danger of building materials by using thermal analysis methods. Cand. tech. sci. diss.* Moscow, 2001. 209 p. (in Russian).
9. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. *Fire behavior of building structures*. Moscow, JSC “Spetstekhnika” Publ., 2001. 496 p. (in Russian).
10. Topor N. D., Ogorodova L. P., Melchakova L. V. *Thermal analysis of minerals and mineral compounds*. Moscow, Moscow State University Publ., 1987. 190 p. (in Russian).
11. Akulova M. V., Belyakova N. A., Kollerov A. N., Potemkina O. V. Research in physical- and chemical processes of forming of the phase composition of heat-resistant plaster with various fillers and addition of liquid glass. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2013, no. 4, pp. 42–46 (in Russian).
12. Fedosov S. V., Akulova M. V., Potemkina O. V., Emelin V. Yu., Petrova O. S. Influence of silicate additives in foam concretes on the fire resistance of constructions. *Nauchnoye obozreniye (Science Review)*, 2013, issue 11, pp. 36–41 (in Russian).
13. Fedosov S. V., Malyy I. A., Vetoshkin A. A., Akulova M. V., Potemkina O. V., Shchepochkina Yu. A., Emelin V. Yu. *Crude mixture for making foamed concrete*. Patent RU, no. 2471753, publ. date 10.01.2013 (in Russian).

For citation: Fedosov S. V., Levashov N. F., Akulova M. V., Potemkina O. V., Zhivotyagina S. N. Using the complex methodology of analysis of the behavior of cement composites containing silicate additives at elevated temperatures. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 12, pp. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.14-21.