

Н. Ф. ЛЕВАШОВ, адъюнкт, 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, 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)

УДК 624.01+614.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ СИЛИКАТНЫХ ДОБАВОК В РАСТВОРАХ НА СВОЙСТВА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ АРМАТУРЫ

Предложена методика расчета огнестойкости строительных конструкций при введении силикатов в состав раствора защитного слоя арматуры. Проведен сравнительный анализ зависимости огнестойкости строительных конструкций от вида защитного слоя арматуры из разработанных составов термостойких растворов с различным содержанием силикатных добавок с помощью статического и теплотехнического расчетов. Проведены исследования и расчеты, которые показали, что метод определения предела огнестойкости железобетонных конструкций можно использовать для характеристики влияния различных компонентов сырьевой смеси цементного композита на теплозащитные свойства материала и огнестойкость строительных конструкций.

Ключевые слова: методика; растворы на жидкостекольных композитах; огнестойкость; силикатные добавки; теплотехнический расчет; статический расчет.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.30-36

В настоящее время в России интенсивно развивается строительство зданий и сооружений из бетонных и железобетонных конструкций. Различные цементные композиты, элементы конструкций и здания в целом по-разному ведут себя в условиях воздействия пожара и высоких температур [1–4]. Существует множество методов, определяющих подход к прогнозированию и оценке поведения строительных материалов в составе различного рода строительных конструкций в условиях пожара. Большое внимание уделяется изучению данного вопроса и за рубежом. Известны как расчетные, так и экспериментальные методики определения поведения строительных материалов в условиях повышенных температур. Один из подходов к оценке поведения строительных материалов в условиях воздействия высоких температур отражен в исследовательской работе О. И. Молчадского [5]. В частности, в ней описан подход к прогнозированию поведения таких строительных материалов, как вермикулитовая плита, а также проявления их пожароопасных свойств при воздей-

ствии повышенных температур в зависимости от их исходных термохимических характеристик.

В источнике [6] приводится описание расчетной методики по определению и прогнозированию влияния стандартного режима пожара на конструкции перекрытий. В исследовании основное внимание уделяется расчетному примеру, который представляет собой своего рода инструкцию. В ней автор проводит многократные расчеты перекрытий различного типа с целью создания готового образца по расчету огнестойкости перекрытий, а также прогнозирования их поведения при длительном воздействии повышенных температур в условиях стандартного пожара.

Авторы публикации [7] предлагают методологию оценки огнестойкости стальных несущих колонн определенного типа в зависимости от вида тепловых воздействий при различных сценариях развития пожара. Предложенная методология основана на сравнении временного показателя температурной кривой колонны в условиях стандартного пожара с

температурной кривой в режиме нестационарного прогрева представленной конструкции. Данный метод был проверен на результатах, полученных при экспериментальной проверке огнестойкости стальных несущих колонн с учетом влияния интенсивности теплообмена на снижение прочности с течением времени. Еще один взгляд на поведение бетона на цементном вяжущем в условиях воздействия высоких температур представлен в источнике [8]. Ее автор исследовал взрывообразное разрушение бетона при пожаре в зависимости от наличия в его порах влаги, внутреннего давления пара в порах, создаваемого в результате термического воздействия, а также в зависимости от температуры, воздействующей непосредственно на конструкции на его основе.

В то же время практически отсутствуют какие-либо методики для комплексного анализа поведения материалов при повышенных температурах в строительных конструкциях, а существующие носят зачастую односторонний характер, не давая полной оценки пожарной опасности строительных конструкций и строительных материалов, из которых они выполнены. Так, например, в пособии [9] детально показан теплотехнический расчет огнестойкости строительных конструкций на примере железобетонных конструкций (таких, как плита перекрытия, ригель, колонна, ферма, несущая стена), выполненных на основе обычного тяжелого бетона с силикатным и карбонатным заполнителем и арматуры классов А240–А1000. В пособии [10] даны указания по расчету предела огнестойкости на примере железобетонных конструкций (ригель, колонна, плита перекрытия), также выполненных из тяжелого бетона и арматуры различного класса. В пособии [11] представлены справочные данные по пределам огнестойкости различных групп строительных конструкций совместно с комплексом строительных элементов, включающих также отделочные материалы. Однако подобные расчеты можно использовать для оценки поведения при нагреве не только строительной конструкции в целом, но и термостойких материалов, используемых в качестве подстилающих слоев в железобетоне. Известно, что для многих материалов, хорошо показавших себя при испытании в стандартных условиях, дальнейшие испытания их совместно с арматурой и при различных видах нагружения не дали общего ожидаемого эффекта от их применения.

В настоящей работе для предварительной оценки поведения цементных композитов с различными добавками в строительных конструкциях при высокотемпературном воздействии предлагается комплексная методика, включающая определение основных свойств строительного материала и расчет ус-

ловного поведения строительной конструкции при пожаре. Методика основана на математическом моделировании конструкции, в которой обычный защитный бетонный слой арматуры заменен на новый материал. Такой метод позволяет провести предварительный анализ возможного применения материала в конструкциях без дорогостоящих натурных испытаний.

Рассмотрим применение данной методики на примере новых материалов, разработанных на кафедре пожарной профилактики Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России совместно с кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов Ивановского государственного политехнического университета [12]. Это растворы на основе жидкостеклообразных композитов [13], а также с добавлением волокон минеральной ваты, которые относятся к группе негорючих материалов. Они имеют низкую теплопроводность и высокую термостойкость и могут применяться в качестве защитных слоев в строительных конструкциях для повышения их предела огнестойкости [14].

Известно, что огнестойкость является международной пожарно-технической характеристикой, регламентируемой строительными нормами и правилами, и характеризует способность конструкций и зданий сопротивляться воздействию пожара [1]. Для оценки огнестойкости строительных конструкций используют экспериментальные и расчетные методы.

Для решения задач по теплопроводности растворов с добавлением стекловолокна выбран расчет предела огнестойкости железобетонной конструкции по потере несущей способности, который состоит из двух частей — теплотехнической и статической [11].

Теплотехническим расчетом определяют время предела огнестойкости, по истечении которого арматура нагревается до критической температуры либо площадь сечения слоя бетона конструкции сокращается до предельной величины при воздействии на нее стандартного температурного режима. Теплотехнический расчет выполняют исходя из условия, что нагрев конструкции происходит по стандартному температурному режиму, принятому для испытаний на огнестойкость. Изменение температуры во времени в любой точке конструкции может быть выражено дифференциальным уравнением теплопроводности Фурье. Для одномерного потока тепла, вызывающего изменение температуры в одном направлении по сечению конструкции, уравнение Фурье имеет вид [10]:

$$\frac{dt}{d\tau} = a_{\text{пр}} \frac{d^2 t}{dy^2}, \quad (1)$$

где t — температура, °C;

τ — время, мин;

$a_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент температуропроводности, м²/с;

y — координата точки.

Чтобы решить уравнение (1), необходимо знать распределение температуры по сечению этой конструкции в начальный момент времени, а также геометрическую форму конструкции и закономерности теплообмена между окружающей средой и поверхностями конструкции (т. е. граничные условия).

Статическая модель задачи установления предела огнестойкости железобетонной конструкции сводится к вычислению несущей способности нагретой конструкции. Метод решения этой задачи зависит от вида конструкции и условий ее работы. Изгибаемые элементы (однопролетные свободно лежащие плиты, панели и настилы перекрытий, балки и ригели) теряют свою несущую способность в основном вследствие снижения прочности нагреваемой растянутой арматуры. Если в растянутой зоне установлена арматура из стали одного класса, то коэффициент $\gamma_{s,tem}$, учитывающий изменение сопротивления арматурной стали при повышении температуры, может быть определен из зависимости

$$\gamma_{s,tem} = \frac{M_n - A'_s R_{sc}^n (0,5x_{tem} - a')}{A_s R_{sc}^n (h_o - 0,5x_{tem})}; \quad (2)$$

$$x_{tem} = h_o - \sqrt{h_o^2 - \frac{2[M_n - A'_s R_{sc}^n (h_o - a')]}{b R_b^n}}, \quad (3)$$

где M_n — нормативный момент, кН·м;

A'_s — площадь сечения сжатой арматуры, м²;

R_{sc}^n — нормативное сопротивление рабочей арматуры, МПа;

x_{tem} — высота сжатой зоны, м;

a' — расстояние от сжатой грани до центра сжатой арматуры, м;

A_s — площадь сечения растянутой арматуры, м²;

h_o — толщина плиты, учитываемая при расчете по нагрузкам при изгибе, м;

b — ширина плиты, м;

R_b^n — нормативное сопротивление бетона сжатия, МПа.

По вычисленному значению $\gamma_{s,tem}$ определяют критическую температуру, а путем теплотехнического расчета находят время нагрева растянутой арматуры до критической температуры, которое и принимается за предел огнестойкости конструкции. Аналогичным путем определяют предел огнестойкости конструкции при других условиях опирания и нагрева. Такая методика хорошо подходит для опреде-

Таблица 1. Составы растворов, кг на 1 м³ смеси

Номер состава	Цемент	Песок	Вода	Щебень	Минеральная вата	Жидкое стекло
1	398	796	325	1000	—	—
2	650	1300	325	—	—	22,5
3	650	1300	325	—	11,4	25,5
4	650	1300	325	—	68,0	22,5

Таблица 2. Изменение средней плотности, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности в зависимости от состава раствора

Номер состава	Раствор	Средняя плотность раствора, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_{tem} , Вт/(м·°C)	Средний коэффициент температуропроводности, 10 ⁻⁷ м ² /с
1	Тяжелый бетон	2284	1,0425	3,8
2	Раствор без волокон	1944	1,1100	4,9
3	Раствор с 0,5 % волокон	1928	1,0580	4,6
4	Раствор с 3 % волокон	1896	0,7780	2,8

ления зависимости пределов огнестойкости конструкций от вида защитного слоя арматуры. В качестве примера для расчета использовалась пустотная плита перекрытия, в которой слой тяжелого бетона для защиты арматуры условно заменялся слоем штукатурного раствора с содержанием волокон минеральной ваты той же толщины.

В качестве модельных в расчетах использовались следующие составы растворов с силикатными добавками: цемент — песок — щебень — вода (1); цемент — песок — жидкое стекло — вода (2); цемент — песок — вода — жидкое стекло — минеральная вата (3); цемент — песок — вода — жидкое стекло — минеральная вата (4) (табл. 1).

Для проведения комплексного исследования и расчетов определялись физические и физико-химические свойства используемых растворов — средняя плотность, предел прочности при сжатии и изгибе, коэффициент теплопроводности (табл. 2).

Определение теплопроводности жаростойкого штукатурного раствора производили согласно ГОСТ 7076–99 на специальном приборе (рис. 1).

Для испытаний применялся измерительный комплекс (см. рис. 1), состоящий из первичного преобразователя, предназначенного для преобразования импульса электрической энергии в тепловую и формирования электрического сигнала, определяющего изменение температуры поверхности материала изделия под воздействием теплового импульса; вторичного измерительного прибора для регистрации

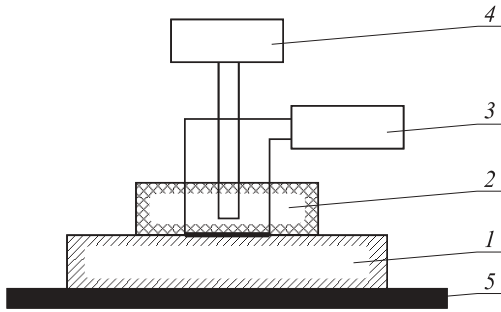


Рис. 1. Блок-схема измерительного комплекса для определения теплопроводности материалов изделий: 1 — исследуемое изделие; 2 — первичный преобразователь; 3 — вторичный измерительный прибор для регистрации электрического сигнала; 4 — импульсный источник тока с таймером теплового импульса; 5 — основание

электрического сигнала; импульсного источника тока с таймером теплового импульса, обеспечивающего нагрев пластины первичного преобразователя.

Для более полного анализа влияния состава раствора на огнестойкость строительных конструкций проводился расчет пределов огнестойкости на примере железобетонной многпустотной плиты перекрытия [11]. Для получения сравнительной оценки расчет выполнялся для плиты с защитным слоем из тяжелого бетона, а также со слоями из составов, приведенных в табл. 1.

Исходные данные принимали по параметрам для стандартной плиты перекрытия по ГОСТ 9561–91 “Плиты перекрытий железобетонные, многпустотные для зданий и сооружений”: расчетная длина плиты $l_0 = 6,3$ м; ширина плиты $b = 1190$ мм; толщина плиты $h = 220$ мм; максимальный изгибающий момент $M_n = 39,69$ кН·м; толщина защитного слоя бетона с учетом толщины стержня $a = 30$ мм; толщина плиты, учитываемая при расчете по нагрузкам при изгибе, $h_o = 190$ мм; приведенная толщина полки $b'_f = 40$ мм; класс арматуры — А-800; суммарная площадь сечения растянутой арматуры $A_s = 616$ мм²; расчетная ширина плиты $\Sigma_{bp} = 630$ мм; нормативная равномерно распределенная нагрузка на плиту $q_n = 8$ кН/м; класс бетона — В25; вид бетона — тяжелый; диаметр пустот плиты $d_{nl} = 140$ мм; количество пустот — 4; коэффициент надежности по бетону $\gamma_b = 0,83$; коэффициент надежности по арматуре $\gamma_s = 0,9$; диаметр арматурного стержня $d_{arm} = 14$ мм; коэффициент, учитывающий среднюю плотность бетона, $K = 37,2$ с^{1/2}; плотность бетона $\rho = 2330$ кг/м³; влажность бетона $w_b = 2$ %; расчетное сопротивление бетона сжатию $R_b = 18,5$ МПа; расчетное сопротивление арматуры $R_{su} = 875,5$ МПа.

В результате теплотехнического расчета предела огнестойкости плиты перекрытия с защитным слоем арматуры из тяжелого бетона определяли фактический предел огнестойкости.

Для этого сначала находили высоту сжатой зоны бетона x_{tem} (м) в предельном состоянии:

$$x_{tem} = h_o - \sqrt{h_o^2 - 2 \frac{M_n}{R_b b'_f}} = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м.} \quad (4)$$

Определяли напряжение в растянутой зоне железобетонной плиты $\sigma_{s,tem}$:

$$\sigma_{s,tem} = \frac{b'_f x_{tem} R_b}{A_s} = 349,6 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Находили коэффициент снижения надежности прочности по арматуре $\gamma_{s,tem}$ при прогреве:

$$\gamma_{s,tem} = \sigma_{s,tem} / R_{su} = 0,39. \quad (6)$$

По полученному значению $\gamma_{s,tem}$ находили методом линейной интерполяции критическую температуру нагрева арматурной стали $t_{scr} = 552$ °С [6] и средний коэффициент теплоемкости C_{tem} :

$$C_{tem} = 710 + 0,84 t_m = 1088 \text{ Дж/(кг·°С)}, \quad (7)$$

где t_m — расчетная температура, равная 450 °С.

Затем определяли приведенный коэффициент температуропроводности:

$$a_{пр} = \frac{\lambda_{tem}}{(C_{tem} + 50,4 w_b) \rho_{oc}} = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, \quad (8)$$

где λ_{tem} — средний коэффициент теплопроводности при расчетной температуре t_m ;

ρ_{oc} — средняя плотность бетона в сухом состоянии; $\rho_{oc} = 100\rho/(100 + w_b)$.

С помощью табличных данных определяли значение Гауссова интеграла ошибок X по прил. 1 [7] и находили фактический предел огнестойкости τ для плиты со сплошным сечением:

$$\tau = \left[\frac{K + (a + K_1 d_{arm}) / \sqrt{a_{пр}}}{2X} \right]^2 = 130 \text{ мин}, \quad (9)$$

где K_1 — коэффициент, учитывающий влияние массы металла стержня на его прогрев при различной плотности сухого бетона;

d_{arm} — диаметр арматурного стержня, м.

С учетом коэффициента более быстрого прогрева арматуры в многпустотных панелях настила, равного 0,9, фактический предел огнестойкости составил 126 мин.

С помощью экспериментально полученных данных, коэффициента теплопроводности, плотности и вычисленного на их основе приведенного коэффициента температуропроводности аналогично проводился расчет предела огнестойкости плиты. Для плиты с защитным слоем для арматуры из штукатурного раствора без волокон он составил 97 мин, с содержанием волокон 0,5 % — 101 мин и 3 % — 136 мин. Данные расчета огнестойкости с защитными слоями

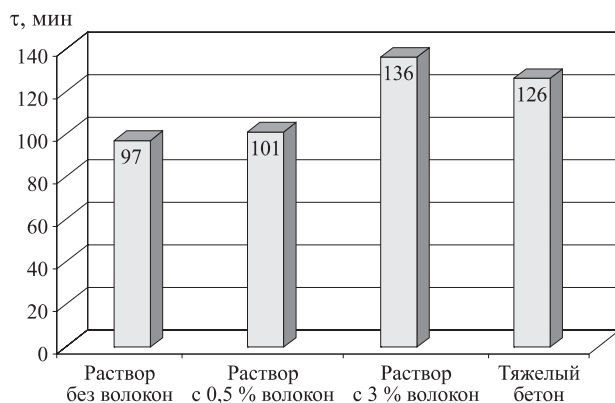


Рис. 2. Диаграмма фактического предела огнестойкости плиты перекрытия с защитным слоем из тяжелого бетона и различными слоями из штукатурного раствора

для арматуры из тяжелого бетона и штукатурных растворов представлены на рис. 2.

Как видно из диаграммы, тяжелый бетон обладает более высокой огнестойкостью, чем слой обычного раствора с добавкой жидкого стекла той же толщины. Добавление жидкого стекла совместно с минеральным волокном повышает огнезащитные свойства раствора. Например, при добавлении 3 % волокон от массы сухого вещества огнезащитные свойства повышаются в 1,4 раза. Причем предел огнестойкости конструкции со слоем раствора, содержащего 3 % волокон, по сравнению с конструкцией со слоем из тяжелого бетона увеличивается на 8 %.

Таким образом, исследования и расчеты показали, что методику расчета предела огнестойкости железобетонных конструкций можно использовать для оценки влияния различных компонентов сырьевой смеси цементного композита на теплозащитные свойства материала и огнестойкость строительных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Гельмиза В. И. Оценка взрывоопасного разрушения бетона // Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1980. — Вып. № 8. — С. 85–89.
3. Руссо В. А., Морозов В. Н., Павлова Л. В. Взрывообразное разрушение мелкозернистого силикатобетона при нагреве // Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1978. — Вып. № 6. — С. 75–83.
4. Жуков В. В., Гуляева В. Ф., Сорокин А. Н. Взрывообразное разрушение бетона // Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1976. — Вып. № 4. — С. 42–57.
5. Молчадский О. И. Прогноз пожарной опасности строительных материалов при использовании методов термического анализа : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВНИИПО МВД РФ, 2001. — 209 с.
6. Król Paweł A. Evaluation of the fire resistance of steel-beam floors // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. — 2014. — Vol. 35, Issue 3. — P. 73–96. DOI: 10.12845/bitp.35.3.2014.7.
7. 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.
8. Peng G. Evaluation of fire damage to high-performance concrete : Ph. D. Diss. — Hong Kong : Hong Kong Polytechnic Institute, 2000.
9. Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006–2006) / Под ред. А. Ф. Милованова. — М. : Стройиздат, 2008. — 131 с.
10. Акулова М. В., Щепочкина Ю. А., Емелин В. Ю., Павлов Е. А. Расчет огнестойкости железобетонных строительных конструкций : учебно-методическое пособие. — Иваново : ООНИ ИВИ ГПС МЧС России, 2011. — 103 с.
11. Пособие по определению огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2–80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. — М. : Стройиздат, 1985. — 56 с.
12. Патент 2471753 Российская Федерация. МПК C04B 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.
13. 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.
14. 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.

Материал поступил в редакцию 26 мая 2015 г.

Для цитирования: 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.

English

USING METHODOLOGY OF CALCULATION OF FIRE RESISTANCE OF STRUCTURES FOR ANALYSIS OF INFLUENCE SILICATE ADDITIVES IN SOLUTION AT PROTECTIVE LAYER REINFORCEMENT PROPERTIES

LEVASHOV N. F., Postgraduate Student, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the 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, Head of Building Materials Production Department, Ivanovo State Polytechnic 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 Chief on Academic Work, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: molodkina@mail.ru)

ABSTRACT

At the present time in Russia the construction of buildings and structures of concrete and reinforced concrete structures is developed. Different cement composites, structural elements, the building are shown the behavior differently in terms of exposure of fire and high temperatures. However, there is hardly any method of complex analysis of the behavior of materials at elevated temperatures in building structures, and the existing methodologies to determine the fire resistance do not provide a full assessment of fire hazard of building structures and construction materials from which they are made.

Along side with this process new types of materials that can effectively protect the building structure from thermal effects are developed. So the Department of Fire Prevention of Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia together with the Department of Building Materials, Special Technology and Technological Complexes of Ivanovo State Polytechnic University developed mortar compositions with increased thermal stability, which contain a supplement of liquid glass and fiberglass. Research and calculations performed with the participation of these compositions showed that the method for determining the fire resistance of concrete structures can be used to characterize the impact of different components of the raw mix cement composite thermal insulation properties of the protective solution and fire resistance of reinforced concrete hollow core slabs.

The research was conducted on the compositions of heat-resistant plaster. Their average density, thermal conductivity was determined. To determine the fire resistance of building structures with using the developed mortars such a thermal characteristic as thermal conductivity was determined. The data shows that heavy concrete has a higher fire resistance than conventional mixes the solution at the same thickness. The addition of mineral fibers increases the fire retardant properties of the solution. For example, adding 3 % fibers by weight of the solids increases its fire-resistance properties 1.4 times. For example, the fire resistance of the construction in comparison with a layer of heavy concrete in the application layer of a solution containing 3 % of fibers increases by 8 %.

Thus, researches and calculations have shown that the method for determining the fire resistance of concrete structures can be used to characterize the impact of different components of the raw mix cement on the thermal insulation of the composite material properties and fire resistance of building structures.

Keywords: methodology; solutions on liquid composites; fire resistance; silicate additives; thermal calculation; static calculation.

REFERENCES

1. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. Gelmiza V. I. Otsenka vzryvoopasnogo razrusheniya betona [The evaluation of the explosive destruction of concrete]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy* [Fire Resistance of Building Structures]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1980, issue 8, pp. 85–89.
3. Russo V. A., Morozov V. N., Pavlova L. V. Vzryvoobraznoye razrusheniye melkozernistogo silikato-betona pri nagreve [The explosive destruction of the small grained silicate concrete by heating]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy* [Fire Resistance of Building Structures]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1978, issue 6, pp. 75–83.
4. Zhukov V. V., Gulyaeva V. F., Sorokin A. N. Vzryvoobraznoye razrusheniye betona [The explosive destruction of concrete]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy* [Fire Resistance of Building Structures]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1976, issue 4, pp. 42–57.
5. Molchadskiy O. I. *Prognoz pozharney opasnosti stroitelnykh materialov pri ispolzovanii metodov termicheskogo analiza. Dis. kand. tekhn. nauk* [Forecast fire danger of building materials by using thermal analysis methods. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russia Publ., 2001. 209 p.
6. Król Paweł A. Evaluation of the fire resistance of steel-beam floors. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 2014, vol. 35, issue 3, pp. 73–96. DOI: 10.12845/bitp.35.3.2014.7.
7. 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.
8. Peng G. *Evaluation of fire damage to high-performance concrete. Ph. D. Diss.* Hong Kong, Hong Kong Polytechnic Institute, 2000.
9. Milovanov A. F. (ed.). *Handbook for the calculation of the fire resistance of reinforced concrete structures and exposure to unexposed of heavy concrete*. Moscow, Stroyizdat, 2008. 131 p. (in Russian).
10. Akulova M. V., Shchepochkina Yu. A., Emelin V. Yu., Pavlov E. A. *Raschet ognestoykosti zhelezobetonnykh stroitelnykh konstruksiy: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Calculation of fire resistance of reinforced concrete building structures. Handbook]. Ivanovo, Ivanovo Institute of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2011. 103 p.
11. *Handbook for determining the fire resistance of structures, limit the spread of fire in design and flammability of materials groups*. Moscow, Stroyizdat, 1985. 56 p. (in Russian).
12. Fedosov S. V., Malyi I. A., Vetoshkin A. A., Akulova M. V., Potemkina O. V., Shchepochkina Yu. A., Emelin V. Yu. *Crude mixture for making foamed concrete*. Patent RF, no. 2471753, 10.01.2013.
13. Fedosov S. V., Akulova M. V., Potemkina O. V., Emelin V. Yu., Petrova O. S. Vliyanie silikatnykh dobavok v penobetonakh na ognestoykost konstruksiy [Influence of silicate additives in foam concretes on the fire resistance of constructions]. *Nauchnoye obozreniye — Science Review*, 2013, issue 11, pp. 36–41.
14. Akulova M. V., Belyakova N. A., Kollerov A. N., Potemkina O. V. Issledovaniye fiziko-khimicheskikh protsessov formirovaniya fazovogo sostava zharostoykogo shtukaturnogo rastvora s razlichnymi napolnitelyami i dobavleniyem zhidkogo stekla [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.

For citation: Levashov N. F., Akulova M. V., Potemkina O. V. Primeneniye metodiki rascheta ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy dlya analiza vliyaniya silikatnykh dobavok v rastvorakh na svoystva zashchitnogo sloya armatury [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. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.30-36.