



УДК 691.327:666.974.2

А.С. Пушенко – аспирант

Ростовский государственный строительный университет (РГСУ)

К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА

АННОТАЦИЯ

Проведены исследования прочностных характеристик высокопрочного бетона различных модификаций в условиях пожара. Представлены результаты исследований, определена несущая способность железобетонной колонны после воздействия высоких температур пожара.

A.S. Pushenko – post-graduate student

Rostov State University of Civil Engineering (RSUCE)

ON DURABILITY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER THE INFLUENCE OF FIRE

ABSTRACT

Durability characteristics of different high-strength concrete modifications under the influence of fire is investigated. The results of the investigation, the determined stability of reinforced concrete columns under the influence of high temperatures of fire are presented.

На сегодняшний день существуют международные и национальные стандарты по пожарной безопасности, устанавливающие качественные и количественные методы оценки горючести и пожарной опасности веществ и материалов. Однако это не позволяет, по-видимому, эффективно бороться с пожарами, количество и ущерб от которых нарастает во всем мире. Отечественные [1, 2] и зарубежные [3] исследования последних лет убедительно доказывают зависимость количества пожаров и потерь от них от численности и «удельной энерговооруженности» населения, удвоение которых каждые 13 лет – объективный факт [3].

Наибольшую опасность представляют пожары в зданиях повышенной этажности. Несмотря на то, что к таким зданиям предъявляются особые требования при строительстве и эксплуатации [4, 5], анализ данных по пожарам показывает, к сожалению, достаточно частую невозможность обеспечения безопасности находящихся в них людей. Наибольшую опасность при пожаре, помимо отравления продуктами горения, представляет обрушение несущих конструкций стен и перекрытий, выполненных из бетона и железобетона. Обрушение таких конструкций происходит зачастую вследствие взрывообразного разрушения высокопрочного бетона при пожаре. Такое явление наиболее опасно для несущих конструкций, особенно с небольшим поперечным сечением, воспринимающих большие нагрузки. Их преждевременное разрушение может привести не только к резкому снижению прочности и огнестойкости конструкции, но и вызвать опасность для жизни и здоровья людей.

Причины такого разрушения бетона при нагреве связаны с его влажностным состоянием, составом и структурой, а также напряженно-деформированным состоянием, вызванным давлением пара в замкнутых порах бетона при высокой скорости нагрева [6, 7].

Исследование поведения высокопрочного бетона при пожаре и после температурного воздействия показало, что изменение структуры бетона путем добавления в его состав некоторых компонентов способствует изменению свойств бетона [8]. Например, из рис. 1 видно, что скорость остывания бетона практически не зависит от его начального состава. Зависимость скорости прохождения ультразвука от температуры высокопрочного бетона в процессе остывания представлена на рис. 2, 3.

В табл. 1 и 2 представлены данные по изменению прочностных характеристик высокопрочного бетона в результате воздействия высоких температур при пожаре.

Зависимости относительной деформации до и после воздействия температуры от приложенной нагрузки показаны на рис. 4.

Выявлено, что наиболее стойким к воздействию температуры пожара является высокопрочный бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон и бетон с добавлением кристаллогидратов $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, который сохраняет свои прочностные характеристики более продолжительное время, а его деформативные характеристики практически идентичны исходным.

По результатам исследований аналитическим методом была выведена формула (1) по определению

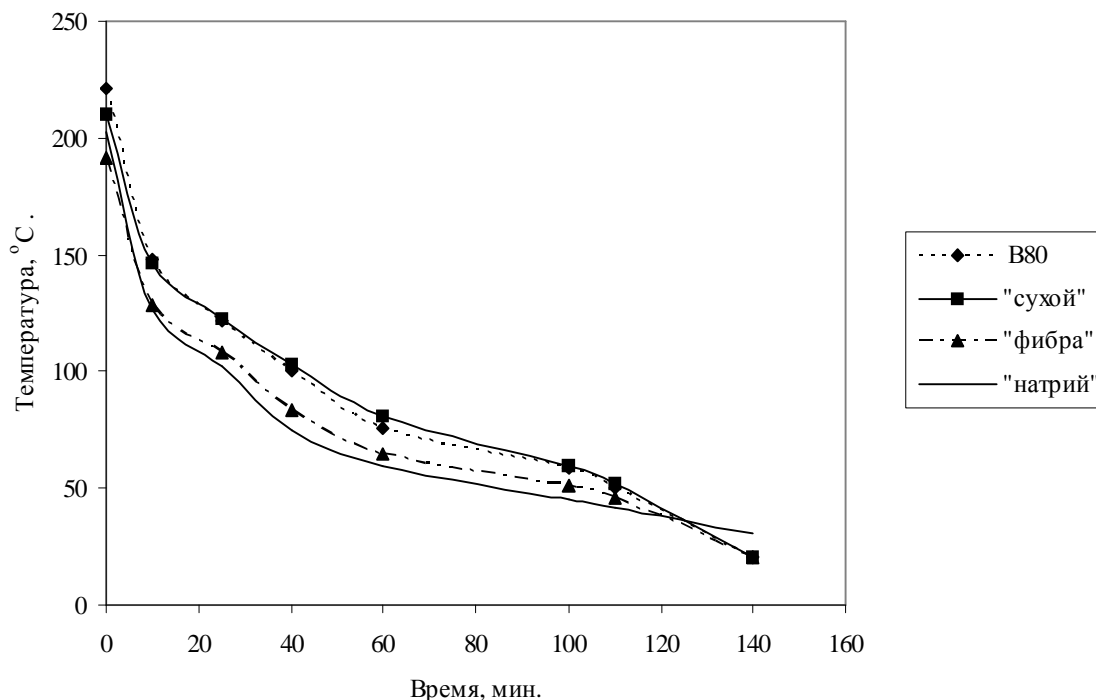


Рис. 1. Динамика скорости остывания для различных составов высокопрочного бетона класса В80:

В80 – бетон класса В80 без добавок; «сухой» – бетон класса В80, предварительно высушенный до постоянной массы и защищенный от последующего попадания влаги в его структуру; «фибра» – бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон; «натрий» – бетон класса В80 с добавлением кристаллогидратов $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Замеры температуры образцов производились после их извлечения из огневой камеры. Время первого замера – через 30 минут после прекращения воздействия температуры

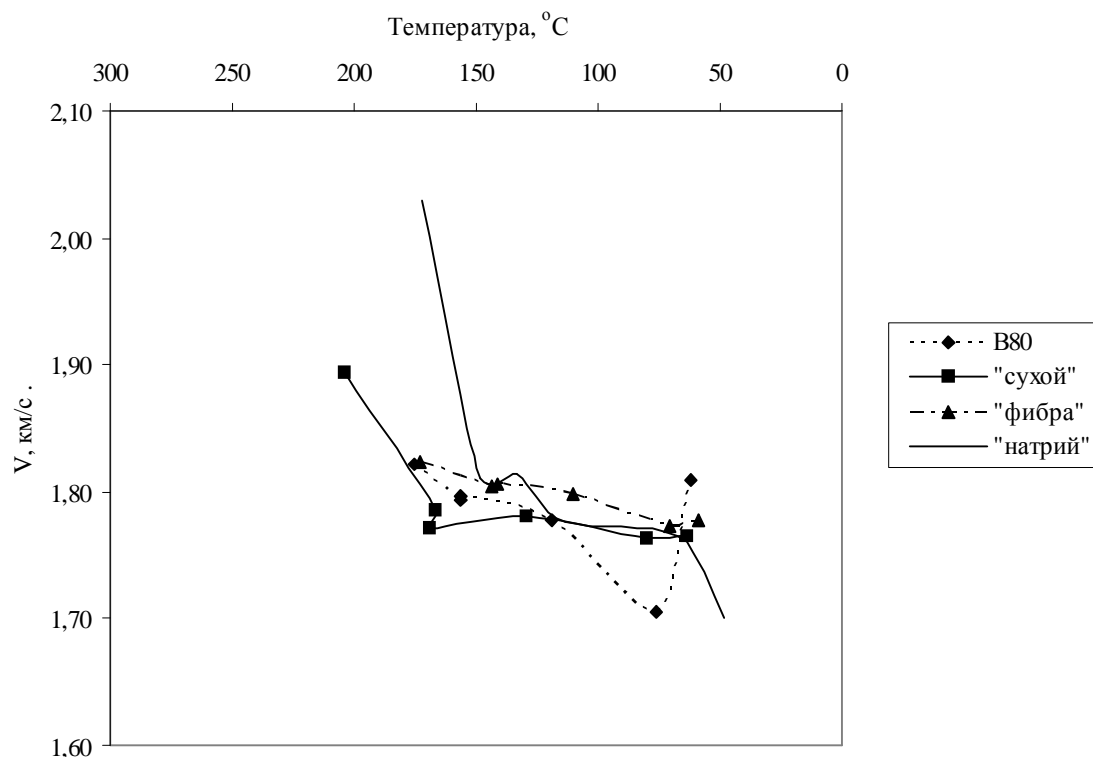


Рис. 2. Зависимость скорости прохождения ультразвука при поверхностном прозвучивании от температуры высокопрочного бетона класса В80 в процессе остывания после огневого воздействия в течение 1-го часа

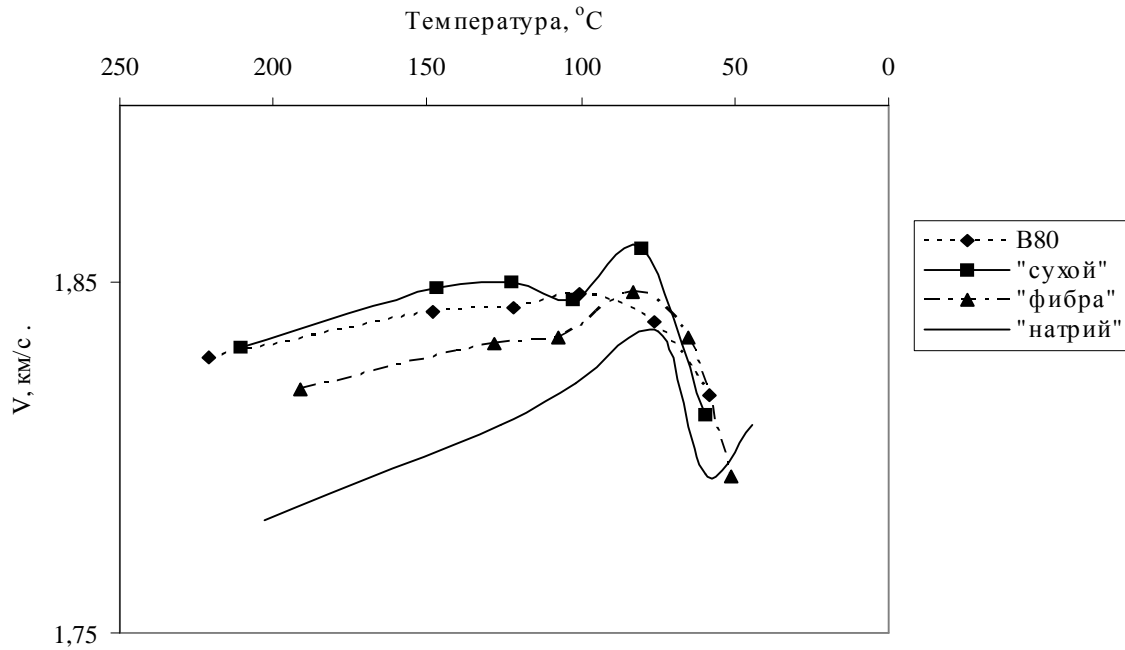


Рис. 3. Зависимость скорости прохождения ультразвука при поверхностном прозвучивании от температуры высокопрочного бетона класса В80 в процессе остывания после огневого воздействия в течение 3-х часов

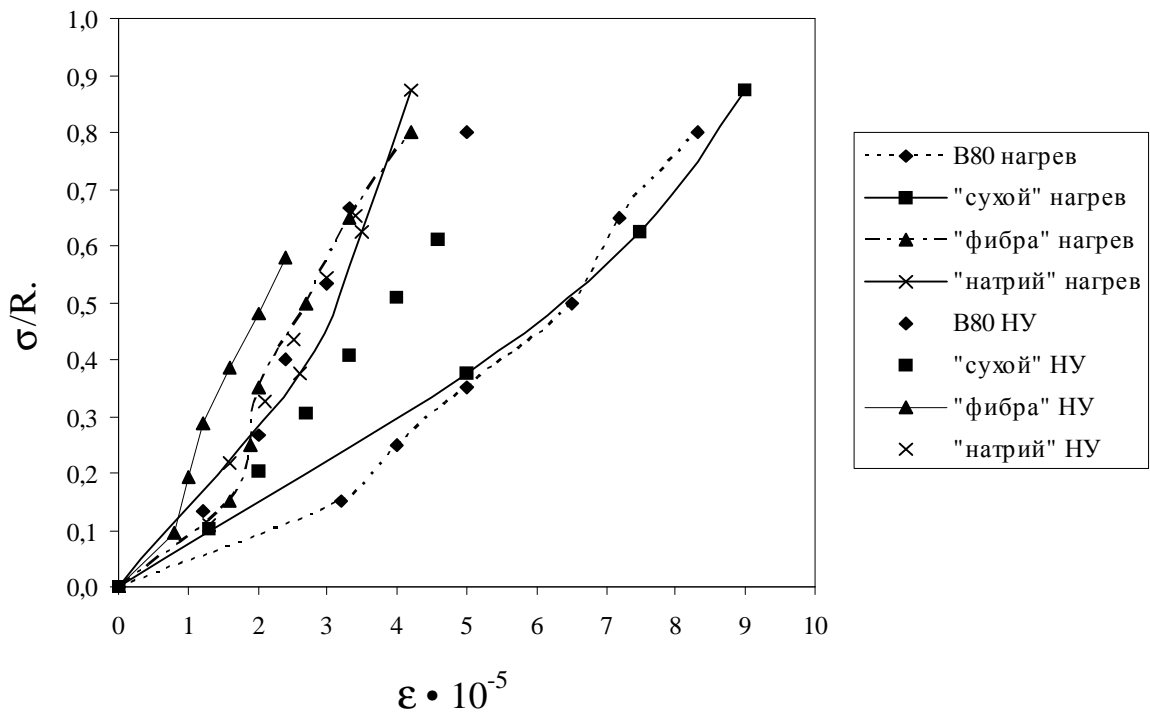


Рис. 4. $\sigma - \epsilon$ диаграмма для различных составов высокопрочного бетона до и после температурного воздействия: В80 – соответственно бетон класса В80, «сухой» – бетон класса В80, предварительно высушенный до постоянной массы и защищенный от последующего попадания влаги в его структуру, «фибра» – бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон, «натрий» – бетон класса В80 с добавлением кристаллогидратов $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, НУ – данные при нормальных условиях до воздействия температуры, нагрев – данные после воздействия температуры в течение 1-го часа



Таблица 1

Результаты воздействия высоких температур при пожаре на основные характеристики высокопрочного бетона*

Время воздействия температуры	Предел прочности при сжатии, %		Предел прочности при растяжении, %		Модуль упругости, %	
	При нагреве	После полного остывания	При нагреве	После полного остывания	При нагреве	После полного остывания
60 мин.	20-22	28-30	18-20	22-24	18-20	23-25
120 мин.	14-16	20-22	10-12	14-16	10-12	14-16
180 мин.	8-10	12-15	-	-	-	10-12

* В таблице указаны остаточные показатели бетона.

Таблица 2

Данные по прочности при сжатии высокопрочного бетона класса В80 до и после воздействия высоких температур пожара

Высокопрочный бетон	Прочность, МПа		
	До воздействия пожара	После воздействия пожара в течение 1-го часа	После воздействия пожара в течение 3-х часов
В80*	94,9	32,2	11,5
«сухой»	87,0	39,9	12
«фибра»	92,5	23,2	8,7
«Na ₂ SO ₄ »	72,6	20,0	6,2

* В80 – высокопрочный бетон класса В80, «сухой» – высокопрочный бетон класса В80 предварительно высушенный до постоянного веса, «фибра» – высокопрочный бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон, «Na₂SO₄» – высокопрочный бетон класса В80 с добавлением кристаллогидратов «Na₂SO₄».

Таблица 3

Расчетная несущая способность железобетонной колонны из высокопрочного бетона

Класс бетона	Армирование, %		Расчетная несущая способность, мН		
			Поперечное сечение, мм		
			400x400	600x600	800x800
Класс бетона	В80	1,5	13,76	30,8	55,04
		2	14,08	31,68	56,32
		3	14,72	33,12	58,88
		4	15,36	34,56	61,44
	В100	1,5	16,96	38	67,84
		2	17,28	38,88	69,12
		3	17,92	40,32	71,68
		4	18,56	41,76	74,24
	В120	1,5	20,16	45,2	80,64
		2	20,48	46,08	81,92
		3	21,12	47,52	84,48
		4	21,76	48,96	87,04



Сравнительная характеристика несущей способности железобетонных колонн из высокопрочного бетона

Класс бетона	Армирование, %	Время воздействия температуры и прочность бетона						
		Начальная несущая способность, мН	мН	%	мН	%	мН	%
			1 час		2 часа		3 часа	
В80	Сечение, 400x400 мм							
	1,5	13,76	9,70	70,47	8,64	62,77	8,16	59,29
	2	14,08	9,99	70,96	8,93	63,44	8,45	60,03
	3	14,72	10,63	72,23	9,57	65,03	9,09	61,77
	4	15,36	11,27	73,38	10,21	66,49	9,73	63,36
	Сечение, 600x600 мм							
	1,5	30,8	24,32	78,98	22,59	73,34	21,81	70,81
	2	31,68	25,20	79,53	23,46	74,05	22,68	71,59
	3	33,12	26,64	80,42	24,90	75,18	24,12	72,83
	4	34,56	28,08	81,24	26,34	76,22	25,56	73,96
	Сечение, 800x800 мм							
	1,5	55,04	46,16	83,86	43,75	79,48	42,67	77,52
	2	56,32	47,44	84,23	45,03	79,95	43,95	78,03
	3	58,88	50,00	84,92	47,59	80,82	46,51	78,99
	4	61,44	52,56	85,54	50,15	81,62	49,07	79,86
	В100	Сечение, 400x400 мм						
1,5		16,96	11,88	70,02	10,55	62,21	9,95	58,67
2		17,28	12,17	70,43	10,85	62,76	10,25	59,29
3		17,92	12,81	71,48	11,49	64,09	10,89	60,75
4		18,56	12,13	65,33	12,13	65,33	11,53	62,10
Сечение, 600x600 мм								
1,5		38	29,90	78,69	27,74	72,99	26,76	70,42
2		38,88	30,77	79,15	28,61	73,57	27,63	71,06
3		40,32	32,21	79,90	30,05	74,52	29,07	72,10
4		41,76	31,49	75,40	31,49	75,40	30,51	73,06
Сечение, 800x800 мм								
1,5		67,84	56,74	83,63	53,73	79,19	52,37	77,20
2		69,12	58,02	83,94	55,01	79,58	53,65	77,62
3		71,68	60,58	84,51	57,57	80,31	56,21	78,42
4		74,24	60,13	80,99	60,13	80,99	58,77	79,17
В120		Сечение, 400x400 мм						
				%		%		%
	1,5	20,16	14,05	69,71	12,46	61,83	11,74	58,26
	2	20,48	14,35	70,06	12,76	62,30	12,04	58,79
	3	21,12	14,99	70,96	13,40	63,44	12,68	60,03
	4	21,76	15,63	71,82	14,04	64,52	13,32	61,21
	Сечение, 600x600 мм							
	1,5	45,2	35,48	78,50	32,88	72,74	31,71	70,15
	2	46,08	36,35	78,89	33,75	73,24	32,58	70,70
	3	47,52	37,79	79,53	35,19	74,05	34,02	71,59
	4	48,96	39,23	80,13	36,63	74,82	35,46	72,43
	Сечение, 800x800 мм							
	1,5	80,64	67,32	83,48	63,70	79,00	62,08	76,99
	2	81,92	68,60	83,74	64,98	79,32	63,36	77,34
	3	84,48	71,16	84,23	67,54	79,95	65,92	78,03



прочности высокопрочного бетона по время воздействия пожара:

$$R_T = R_0 e^{(a \cdot T_T + b \cdot T_T^2 + c \cdot T_T^3)}, \quad (1)$$

где: R_0 – прочность бетона при 20 °С, МПа;
 T_T – относительная температура пожара,

$$T_T = \frac{T - T_0}{1000};$$

T – температура пожара;

T_0 – начальная температура;

a, b, c – эмпирические коэффициенты: $a = 0,261$;
 $b = -3,392$; $c = 0,651$.

Несмотря на модификацию бетона и его прочностные характеристики, результирующим показателем является поведение несущих железобетонных конструкций при воздействии высоких температур пожара. Была произведена сравнительная оценка несущей способности несущей конструкции на примере железобетонной колонны.

Несущая способность железобетонной колонны определялась как:

$$N_u = R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A_s \quad (2)$$

где: R_b – прочность бетона на сжатие; A_b – площадь поперечного сечения колонны; R_{sc} – прочность арматурной стали ($R_{sc} = 400$ МПа); A_s – площадь поперечного сечения арматуры в колонне.

Формулу (2) можно переписать в виде:

$$N_u = R_{b(сер)} \cdot A_{b(сер)} + R_{b1} \cdot A_{b1} + \dots + R_{b(n-1)} \cdot A_{b(n-1)} + R_{bn} \cdot A_{bn} + R_{sc} \cdot A_s, \quad (3)$$

где $R_{b(сер)}$ – прочность сердечника железобетонной колонны на сжатие; $A_{b(сер)}$ – площадь поперечного сечения сердечника колонны; n – количество слоев, на которые разбивается защитный слой бетона.

Рассматривалось воздействие высоких температур пожара на железобетонную колонну из высокопрочного бетона классов В80, В100, В120 с арматурой класса А400 и диаметром 28 мм, 40 мм и 55 мм соответственно при размерах поперечного сечения 400х400 мм, 600х600 мм и 800х800 мм. Процент армирования варьировался и принимался равным 1,5%, 2%, 3%, 4%.

В табл. 3 представлена расчетная несущая способность железобетонной колонны из высокопрочного бетона в зависимости от класса бетона, процента армирования и площади поперечного сечения.

Из табл. 4 видно, что даже самый неблагоприятный вариант воздействия пожара в течение трех часов на

железобетонную колонну из высокопрочного бетона класса В80 сечением 400х400 мм с армированием 1,5% и диаметром арматурной стали 28 мм сохраняет ее несущую способность на уровне 59,29% от расчетной. Несущая способность колонн сечением 600х600 мм составляет порядка 70-80% от расчетной (в зависимости от времени воздействия температуры). В случае максимального из рассматриваемых поперечных сечений – 800х800 мм остаточная несущая способность колонны превышает 75% расчетной.

Таким образом, во всех рассматриваемых случаях, кроме воздействия пожара на железобетонную колонну из высокопрочного бетона класса В80 в течение 3 часов, остаточная несущая способность колонны превышает 70%, а зачастую и 75% от расчетной. Такой остаточной несущей способности достаточно для выполнения ею основных функций как в процессе пожара, так и при дальнейшей эксплуатации. Естественно, эти параметры будут выполнены при условии защиты высокопрочного бетона от взрывообразного разрушения при пожаре, и, следовательно, арматуры от нагрева до критической температуры.

Литература

1. Городон Г.Ю., Вайнштейн Л.И. Энерготравматизм и его предупреждение. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
2. Harchenko I. Fires and habitability of the person. – Fire Safety Bulletin (Ukr.), 2000, №2(4). – р. 25-30.
3. Гаврилей В.М. Системный анализ формирования и тенденций изменения уровня пожарной безопасности объектов народного хозяйства. / В сб. науч. тр.: «Организационно-управленческие проблемы пожарной охраны». – М.: ВНИИПО, 1986. – С. 9-25.
4. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М., 2003. – 16 с.
5. МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы.
6. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1979. – 128 с., ил.
7. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с., ил.
8. Пушенко А.С., Азаров В.Н. Оценка влияния высоких температур пожара на свойства высокопрочного бетона. // Вестник ВолГАСУ, серия «Строительство и архитектура», 2007, выпуск 7 (26). – С. 143-147.