

Construction of Unique Buildings and Structures





Огнестойкость железобетонных конструкций: основные принципы расчета по нормам РФ и EC

Л.Л. Шуровкина 1*

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 699.81; 614.841.33	Подана в редакцию 17 апреля 2016	железобетонные конструкции; огнестойкость; огнесохранность; расчет конструкции; воздействие высоких температур;

RNJATOHHA

Каждый год в России и в мире происходит огромное количество пожаров в зданиях и сооружениях. Эти здания и сооружения должны отвечать современным требованиям конструктивной безопасности, что требует выполнения не только расчета несущих конструкций по прочности и их эксплуатационной пригодности, но и проведения расчета на огнестойкость. В данной работе выполнен сопоставительный анализ российских и европейских норм по проектированию железобетонных конструкций в условиях огневого воздействия. Российские и европейские нормы имеют противоречия в части определения огнестойкости железобетонных конструкций. Главная причина - разница базовых принципов и методов проектирования в РФ и ЕС, различие сырьевой базы стран, физико-географических условий. В нормах РФ содержится понятие огнесохранности конструкций, которое отсутствует в нормах других стран. Расчет конструкций на огнесохранность позволяет обеспечить их работоспособность после пожара при заданном пределе огнестойкости без конструктивного усиления.

Содержание

1.	Введение	90
2.	Основные нормативные документы	90
3.	Основные принципы и правила обеспечения огнестойкости конструкций	91
4	Заключение	96

Контактный автор:

^{1*. +7(921)7676306,} Shurovkinalidia@yandex.ru (Шуровкина Лидия Леонидовна, студент)

1. Введение

Каждый год в России и в мире происходит огромное количество пожаров в зданиях и сооружениях, что приводит к значительному материальному ущербу, ранению и гибели людей [1]. Здания и сооружения должны отвечать современным требованиям конструктивной безопасности, что требует выполнения не только расчета несущих конструкций по прочности и их эксплуатационной пригодности, но и проведения расчета на огнестойкость. Обеспечить огнестойкость строительных конструкций — значит гарантировать сохранность их несущей способности в течение заданного периода времени в условиях пожара [2].

Рост объектов строительства, усложнение конструктивных схем зданий заставляет все в большей степени уделять внимание проблеме огнестойкости.

Если при нормальной эксплуатации зданий и сооружений происходит медленный износ материалов, постепенное накопление повреждений в конструкциях, снижение их несущей способности, то при пожаре железобетонные конструкции в нагруженном состоянии подвергаются высокотемпературному огневому воздействию, которое изменяет физико-механические свойства бетоны и арматуры, существенно снижая их прочность и жесткость [3,4,5,6,7].

Железобетонные конструкции сами по себе обладают высокой огнестойкостью. Огнестойкость конструкций зависит от класса бетона, армирования, размеров конструкции, вида заполнителя, нагрузок, схемы работы конструкции и влажности бетона в условиях эксплуатации здания [8-13].

Чтобы дать достоверную оценку огнестойкости конструкций, необходимо учесть их действительное состояние - повреждения, износ, особенности внешних силовых, климатических и технологических воздействий [3].

Проблеме разработки методов огнестойкости железобетонных конструкций посвящены работы А. Ф. Милованова [14], А. И. Яковлева [15,16], В. С. Федорова и В. Е. Левитинского [17,18,19]. В работах В. В. Жукова, И. С. Молчадского, В. Н. Лаврова [20] получила развитие методика расчетов огнестойкости конструкций, в том числе и статически неопределимых, в работах В. И. Голованова, В. В. Павлова, А. В. Пехотикова [21,22] проведены исследования огнестойкости железобетонных конструкций, изготовленных по технологии постнапряжения. Огнестойкость

Цель данной работы – выполнить сравнительный анализ методов расчета огнестойкости железобетонных конструкций по нормам РФ и ЕС.

2. Основные нормативные документы

Основными российскими нормативными документами, в соответствии с которыми должно осуществляться проектирование железобетонных конструкций в условиях огневого воздействия, являются:

- Федеральный закон №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
- СП 27.13330.2011 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур»
- CTO 36554501-006-2006 «Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций»;
- Пособие к CTO 36554501-006-2006 «Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона».

Также существует свод правил СП 27.13330.2011 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур», который распространяется на проектирование бетонных и железобетонных конструкций, систематически подвергающихся воздействиям повышенных (от 50° до 200°С включительно) и высоких (свыше 200°С) технологических температур и увлажнению техническим паром.

Основными европейскими нормами проектирования являются:

- EN 1992 EUROCOD 2 «Проектирование железобетонных конструкций»;
- EN 1992-1-2:2004 «Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила. Определение огнестойкости»;

Область применения и основные положения Еврокода EN 1992-1-2:2004 [23] и CTO 36554501-006-2006 [24] представлены в таблице 1.

Таблица 1. Область применения и основные положения СТО 36554501-006-2006 и EN 1992-1-2:2004

CTO 36554501-006-2006	EN 1992-1-2:2004
Действуют на территории Российской	Распространяется на проектирование
Федерации как дополнение и уточнение ФЗ-123,	железобетонных конструкций с учетом
СНиП 52-01 и распространяются на	обеспечения их огнестойкости и предназначен для
проектирование, строительство, техническое	применения совместно с EN 1992-1-1 и EN 1991-1-
обследование и реконструкцию после пожара	2. Часть 1-2 содержит отличия и дополнения к
зданий и сооружений из железобетона.	положениям указанных стандартов.
Стандарт содержит основные положения по	EN 1992-1-2 содержит принципы,
расчёту огнестойкости и огнесохранности	требования и правила проектирования зданий и
железобетонных конструкций. Он дает	сооружений с конструкций, подвергшихся
возможность на стадии проектирования оценить	огневому воздействию.
пределы огнестойкости железобетонных	
конструкций, проверить их соответствие с	
требованиями ФЗ-123 и установить	
огнесохранность железобетонных конструкций	
после пожара. В основу СП положены	
экспериментальные теоретические исследования.	

В настоящий момент в России проектирование огнестойкости конструкций по европейским нормам не осуществляется, и ведутся работы по гармонизации норм ЕС и РФ.

Проблеме внедрения и адаптации Еврокодов в РФ посвящено много отечественных работ [25-30]. По теме гармонизации норм РФ и ЕС в области проектирования железобетонных конструкций в своих работах писал В. О. Алмазов [31], в области проектирования огнестойкости конструкций - В. В. Соломонов и И. С. Кузнецова [32].

На обсуждении «круглого стола» в Государственной Думе в сентябре 2010 года было отмечено, что «существуют серьезные основания для использования Еврокодов в Российской Федерации. Применение Еврокодов позволит повысить конкурентоспособность российского строительного бизнеса, снимет барьеры как для российских компаний для выхода на европейские рынки строительных услуг, так и для прихода на российский рынок иностранных компаний с их новыми технологиями, для проектировщиков и производителей строительных материалов. Это же относится и к строительным материалам, которые смогут свободно обращаться на зарубежных рынках» [33].

В ходе анализа российских и европейских норм, сделанного В.В. Соломоновым и И.С. Кузнецовой [25], было выявлено, что имеются противоречия в части определения огнестойкости железобетонных конструкций. Главная причина - разница базовых принципов и методов проектирования в РФ и ЕС.

Заложенные в Еврокоды принципы проектирования, классификация материалов и сред, методы расчетов и применяемые при этом коэффициенты отличаются от российской системы технического нормирования в строительстве. Во многом это обусловлено существенными природно-климатическими, геофизическими различиями территорий стран [34].

3. Основные принципы и правила обеспечения огнестойкости конструкций

Выполним сравнительный анализ европейских и российских норм EN 1992-1-2:2004, часть 1-2 «Общие правила. Определение огнестойкости» и СТО 36554501-006-2006 «Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций».

Рассмотрим параметры предельных состояний (табл. 2) и прочностные и деформационные характеристики материалов при повышенных температурах (табл. 3).

Таблица 2. Параметры предельных состояний по огнестойкости по нормам СТО 36554501-006-2006 и EN 1992-1-2:2004

CTO:	36554501-006-2006			EN 1	992-1-2:2004		
3а п	редел огнестойко	сти железобетс	нных	Для	стандартног	о темп	ературного
конструкций	і принимается врем	я в минутах от на	ачала	режима	элементы	должны	отвечать
огневого	стандартного	воздействия	до	предельнь	ім состояниям	по огнест	гойкости R,
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			Е и I следующим образом:			

возникновения одного из предельных состояний по огнестойкости:

- 1. По потере несущей способности (R) конструкций и узлов (обрушение или прогиб в зависимости от типа конструкции); Расчёт предела огнестойкости железобетонной конструкции по потери несущей способности (R) состоит из двух частей: теплотехнической и статистической.
- 2. По теплоизолирующей способности (I) повышение температуры на не обогреваем поверхности в среднем до 160°С или в любой другой точке этой поверхности до 190°С в сравнении с температурой конструкции нагрева, или до 220°С независимо от температуры конструкции до огневого воздействия:
- 3. По целостности (E) образование в конструкции сквозных трещин или сквозных отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя.

- 1. Только ограждает: целостность (предельное состояние огнестойкости по признакам потери целостности Е) и, если требуется, теплоизолируемая способность (предельное состояние огнестойкости по признакам потери теплоизолируваемой способности I);
- 2. Только несущая способность: механическое сопротивление (предельное состояние огнестойкости по признакам потери несущей способности R);
- 3. Ограждающая и несущая способность: предельные состояния огнестойкости R, E и, если требуется, I.

Предельное состояние огнестойкости по признакам потери несущей способности R считается обеспеченным, если обеспеченная несущая способность в течение нужного времени во время огневого воздействия.

Предельное состояние огнестойкости по признакам потери теплоизолируемой способности I считается обеспеченным, когда повышение средней температуры по всей необогреваемой поверхности ограничено 140°С, а повышение максимальной температуры в любой точке поверхности не превышает 180°С.

Таблица 3. Прочностные и деформационные характеристики материалов при повышенных температурах по нормам СТО 36554501-006-2006 и EN 1992-1-2:2004

CTO 36554501-006-2006

Бетон при сжатии

Изменение прочности бетона на осевое сжатие с увеличением температуры учитывается коэффициентом условия работы бетона γ_{bi} :

$$R_{bnt} = R_{bn} \cdot \gamma_{bt}$$
,
 $R_{b.tem} = R_b \cdot \gamma_{bt}$

 $R_{\it bn}$ — нормативное сопротивление бетона осевому сжатию;

 $R_{\scriptscriptstyle b}$ — расчётное сопротивление бетона осевому сжатию:

 γ_{bt} — принимается в зависимости от температуры бетона. Разрешается принимать равным 1 при нагревании бетона до критической температуры и $\gamma_{bt}=0$ при нагревании бетона больше критической температуры.

При расчётной огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций по деформационной модели может быть использована простая двухлинейная диаграмма состояния сжатого бетона (рис. 1). Сжимающие напряжения бетона в зависимости от относительных деформаций определяют по формуле:

при
$$0 \le \mathcal{E}_b \le \mathcal{E}_{bl,red}$$
, $\sigma_b = E_{bl,red} \cdot \mathcal{E}_b$;

EN 1992-1-2:2004

Прочность и деформационные свойства для одноосного напряженного состояния бетона при повышенных температурах определяются по диаграмме «напряжение-деформация», которая представлена на рис 2.

Диаграмма определяется по двум параметрам:

- прочность на сжатие $f_{c,\theta}$;
- деформація $\mathcal{E}_{c1, heta}$, которая равна $f_{c, heta}$.

При
$$\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$$
: $\sigma = \frac{3\varepsilon\!\!f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}}\right)^3\right)}$

При $\mathcal{E}_{c1,\theta} \leq \mathcal{E}_{cu1,\theta}$ для вычисления принимается ниспадающая ветвь графика. Используются линейные или нелинейные модели.

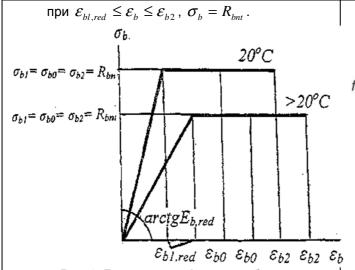


Рис. 1. Диаграмма деформации бетона при расчёте огнестойкости.

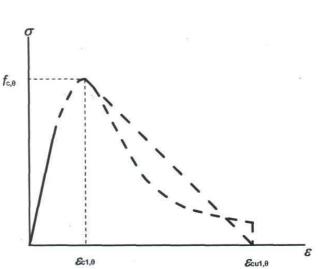


Рис. 2. Математическая модель диаграммы «напряжение-деформация» сжатого бетона при повышенных температурах

Бетон при растяжении

Изменение сопротивления бетона растяжению с увеличением температуры нагревания учитывается коэффициентом условия работы, уbtt.

$$R_{btnt} = R_{btn} \cdot \gamma_{btt}$$
 ,

$$R_{btt} = R_{bt} \cdot \gamma_{btt}$$

 $R_{\it bm}$ — нормативное сопротивление бетона растяжению;

 $R_{\!\scriptscriptstyle bt}$ – расчётное сопротивление бетона растяжению;

 $\gamma_{\scriptscriptstyle btt}$ — принимают по средней температуре бетона сжатой зоны.

Сопротивление бетона растяжению обычно не учитывается. По необходимости, сопротивление бетона на растяжение учитывается при использовании упрощённого или точного метода расчёта.

Снижение характерного сопротивления бетона растяжению учитывают коэффициентом $k_{c,t}(\theta)$, который приведен в формуле:

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) \cdot f_{ck,t}$$

В случае отсутствия точних данных можно использовать следующие значения $k_{c,t}(\theta)$ (рис. 3):

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0$$
 для $20^{0}C \le \theta \le 100^{0}C$;

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0-1,0\cdot(\theta-100)\,/\,500$$
 для

$$100^{\circ}C < \theta \le 600^{\circ}C$$

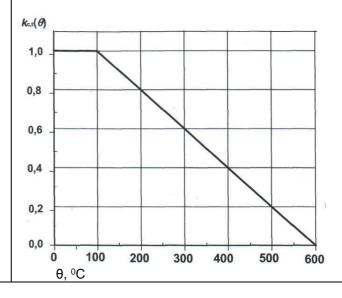


Рис. 3. Коэффициент $k_{c,t}(\theta)$ снижения сопротивления бетона растяжению ($f_{ck,t}$) при повышенных температурах.

Начальный модуль упругости, модуль деформации бетона

При недлительном огневом воздействии с увеличением температуры начальный модуль упру гости учитывают с помощью коэффициента β_b :

$$E_{bt} = E_b \cdot \beta_b$$

При расчёте огнесохранности и длительному воздействию загрузки, значение начального модуля деформации бетона определяют по формуле:

$$E_{bt,r} = E_b / (1 + \varphi_{b,cr})$$

 $arphi_{b.cr}$ – коэффициент ползучести бетона.

Арматура

1. Изменение сопротивления арматуры растяжению сжатию с повышением температуры учитывают коэффициентом условия работы

$$\gamma_{st} = \gamma_{st}$$
.

$$R_{snt} = R_{sn} \cdot \gamma_{st}$$

$$R_{sn} = R_{st} \cdot \gamma_{st}$$

$$R_{sct} = R_{sc} \cdot \dot{\gamma}_{st}$$

 R_{sn} , R_{st} , R_{sc} - нормативные и расчётные сопротивления арматуры.

2. Изменение модуля упругости арматуры с повышением температуры учитывают β_{\circ} :

$$E_{st} = E_s \cdot \beta_s$$

При расчёте железобетонных конструкций по деформационной модели может быть использована двухлинейная диаграмма состояния арматуры, которая устанавливает связь между напряжениями σ_{ς} и относительными деформациями \mathcal{E}_{ς} (рис. 4).

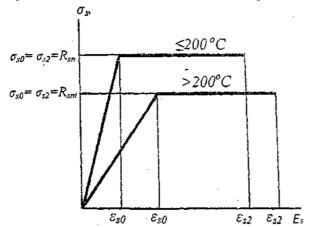


Рис. 4. Диаграмма деформации арматуры при расчёте огнестойкости

Напряжение арматуры зависит от деформации согласно диаграмме, состояние арматуры определяется по формулам:

Прочность и деформационные свойства арматуры при повышенных температурах определяются по диаграмме «напряжение-деформация» (рис. 5).

Диаграмма «напряжение-деформация», представлена на рис. 5, определяется параметрами:

- наклон линейной упругой зоны $E_{s, heta}$;
- граница пропорциональности $f_{sp,\theta}$;
- максимальный уровень напряжений $f_{\rm sv}$ $_{\theta}$.

Диаграмма также может использоваться для арматуры при сжатии.

Математическая модель диаграммы «напряжение-деформация» для ненапряжённой и предварительно напряжённой арматуры при повышенных температурах представлена в таблице 4.

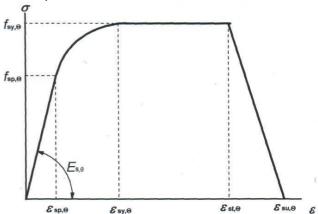


Рис. 5 Диаграмма «напряжение-деформация»

при $0 \le \mathcal{E}_s \le \mathcal{E}_{s0}$, $\sigma_s = E_{st} \cdot \mathcal{E}_s$;	
при ${\mathcal E}_{s0} \leq {\mathcal E}_s \leq {\mathcal E}_{s2}$, ${\pmb \sigma}_b = R_{snt}$.	

Таблица 4. Математическая модель диаграммы «напряжение-деформация» для ненапряжённой и предварительно напряжённой арматуры при повышенных температурах согласно EN 1992-1-2:2004

Диапазон	Напряжение $\sigma(heta)$	Модуль упругости
${\cal E}_{sp, heta}$	$arepsilon E_{s, heta}$	$E_{s, heta}$
$\mathcal{E}_{sp, heta} < \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_{sy, heta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a) \left[a^2 - \left(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon \right)^2 \right]^{0.5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon)}{a[a^2-(\varepsilon-\varepsilon_{sy,\theta})^2]^{0.5}}$
$\mathcal{E}_{\mathrm{sy}, heta} < \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_{\mathrm{st}, heta}$	$f_{sy, heta}$	0
$\mathcal{E}_{st,\theta} < \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta} \left[1 - \left(\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta} / \left(\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta} \right) \right) \right]$	-
$\mathcal{E}_{{\scriptscriptstyle SU}, heta}$	0,00	-
Параметр ^{*)}	$m{\mathcal{E}}_{sp, heta}=f_{sp, heta}/E_{s, heta}$ $m{\mathcal{E}}_{sy, heta}=0{,}02$ Класс А армирования:	$\varepsilon_{st,\theta} = 0.15 \ \varepsilon_{su,\theta} = 0.20$ $\varepsilon_{st,\theta} = 0.05 \ \varepsilon_{su,\theta} = 0.10$
Функции	$a^{2} = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c / E_{s})$ $b^{2} = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} + c^{2}$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^{2}}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	(θ)

- 1. В результате сравнения, представленного в таблице 3, можно сделать вывод, что формулы для построения диаграмм бетона и арматуры при высокотемпературном воздействии при пожаре и диаграммы деформирования бетона и стали в российских и европейских нормах по определению огнестойкости отличаются. В российских нормах не учитывается нисходящая ветвь диаграммы.
- 2. Коэффициенты условий работы бетона и арматуры в российских стандартах при высоких температурах отличаются от коэффициентов снижения сопротивлений в европейских нормах, что связано с отличием российской и европейской сырьевой базы, состава и технологии изготовления, видов сталей и бетона [32]. В российских стандартах коэффициенты выше.
- 3. Также в Еврокоде присутствует множество коэффициентов, которых нет в российских нормах: например, коэффициент расчетного уровня нагрузки при пожаре, коэффициент надежности по материалу при пожаре, коэффициенты сочетания нагрузок [32]. Вопрос применения таких коэффициентов требует дополнительного изучения и обоснования.
- 4. Основным отличием СТО 36554501-006-2006 от EN 1992-1-2:2004 является наличие расчёта на огнесохранность в российском стандарте.

Рассмотрим термин «огнесохранность» подробнее.

В начале 2000-х в российских нормах впервые был введен данный термин. Аналогов данному понятию в зарубежных нормах не выявлено. Термин «огнесохранность» понятен и для специалистов ЕС, однако методика расчетной оценки огнесохранности строительных конструкций впервые внедрена в проектную практику в России.

Огнесохранностью железобетонной конструкции называется такое её состояние, при котором остаточная прочность или необратимые деформации обеспечивают надёжную работу после пожара.

Практика инженерных обследований железобетонных конструкций после пожаров показывает, что некоторые конструкции экономически целесообразно использовать для дальнейшей эксплуатации. Пригодность конструкции определяется оценкой её фактического состояния в ходе технического обследования и выполнением проверочных расчётов их остаточной прочности и остаточной деформации после пожара.

Однако не всегда остаточная прочность и деформации конструкции после пожара изменяются незначительно. В подавляющем большинстве случаев железобетонные конструкции подвергаются высокотемпературным огневым воздействиям, и их приходится заменять на новые. Замена старых

конструкций на новые не всегда возможна и часто связана с большими дополнительными затратами и с прекращением эксплуатации во время восстановительных работ.

Поэтому для особоответственных сооружений и зданий, многофункциональных комплексов, отказы которых после пожара могут привести к тяжёлым экономическим последствиям, а также для конструкций, восстановление которых требует больших сложностей и затрат, необходимо уже при проектировании этих конструкций обеспечить такую их остаточную прочность или необратимые деформации, при которых возможна дальнейшая надёжная эксплуатация после пожара. Такая конструкция обеспечит не только требуемый предел огнестойкости, но и огнесохраность.

Огнесохранность конструкций обеспечивается конструктивными мерами (основной способ) и устройством дополнительной защиты.

Конструктивные меры включают:

- 1) увеличение толщины защитного слоя бетона;
- 2) устройство конструктивного армирования хомутами и поперечными стержнями конструкции (во избежание выпучивания продольной арматуры при ее нагреве во время пожара)

Наиболее распространенными способами дополнительной защиты железобетонных конструкций от длительного воздействия повышенных температур на сегодняшний момент являются:

- нанесение огнезащитных покрытий: красок, штукатурок, мастик;
- облицовка огнестойкими панелями, плитами, листами[35].

4. Заключение

В результате сравнительного анализа были сделаны следующие выводы:

- 1. Нормам РФ и ЕС в части огнестойкости железобетонных конструкций свойственны как совпадающие принципы и правила проектирования, так и определенные различия, отражающие сложившиеся технологические традиции, отличие европейской и российской сырьевой базы, видов сталей и бетона.
- 2. В нормах РФ содержится понятие огнесохранности конструкций, которое отсутствует в нормах других стран. Расчет конструкций на огнесохранность позволяет обеспечить их работоспособность после пожара при заданном пределе огнестойкости без конструктивного усиления.
- 3. В настоящий момент в России проектирование огнестойкости конструкций по европейским нормам не осуществляется. Ведется работа по гармонизации норм РФ и ЕС..

Литература

- [1]. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/ (Дата обращения: 08.02.2016).
- [2]. Огнестойкость зданий и сооружений как один из важных факторов в обеспечении промышленной безопасности / Борно О.И., Семенов А.Ю., Белов Н.Н., Квашнин Д.Г. // Нефтегазовое дело. 2015. №3. С. 739-749.
- [3]. Фёдоров В.С. Основы обеспечения пожарной безопасности зданий . М.: Изд-во АСВ, 2004. 176 с.
- [4]. Huang, Z., Burgess, I. W., Plank, R.J. Three-dimensional analyses of reinforced concrete beam-column structures in fire // ASCE Journal of structural engineering. 2009. Nº135(10). pp. 1201-1212.
- [5]. Huang, Z., Burgess, I.W., Plank, R.J. Behaviour of Reinforced Concrete Structures in Fire // Structures in Fire Workshop, Aveiro, Portugal. 2006. pp. 561-572.
- [6]. Buchanan A. H. Structural Design for Fire Safety. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK. 2001.
- [7]. Zhang C., Usmani A. Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire // Fire Safety Journal. 2015. №78. pp. 85–95.
- [8]. M. Mohamed Bikhiet, Nasser F. El-Shafey, Hany M. El-Hashimy. Behavior of reinforced concrete short columns exposed to fire // Alexandria Engineering Journal. 2014. №53(3). pp. 643-653.
- [9]. Kodur V.K.R., Raut N.K.. Design equation for predicting fire resistance of reinforced concrete columns // Structural Concrete. 2009. №10(2). pp. 73–86.
- [10]. Kodur V.K.R., Raut N.K.. Behavior of circular reinforced concrete columns under fire conditions // Journal of Structural Fire Engineering. 2012 №3(1). pp. 37–55.
- [11]. Han L., Tan Q., Song T. Fire performance of steel reinforced concrete (SRC) structures // Journal of Structural Fire Engineering. 2013. №62. pp. 46–55.
- [12]. Guo Z., Shi X.. Experiment and Calculation of Reinforced Concrete at Elevated Temperatures // Tsinghua University Press, Published by Elsevier Inc. 2011. 311 p.
- [13]. Rodrigues J. P. C., Laim L. M., Korzen M. Fire behaviour of circular concrete columns with restrained thermal elongation // Journal of Advanced Concrete Technology. 2014. №12. pp. 289–298.
- [14]. Милованов А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. М.: Стройиздат, 1998. 304 с.
- [15]. Яковлев А.И. Основы расчета огнестойкости железобетонных конструкций: Дис. докт. техн. наук / МИСИ. М., 1996. 515 с.
- [16]. Яковлев А.И. Расчет пределов огнестойкости сжатых железобетонных конструкций по критическим деформациям // Поведение строительных конструкций в условиях пожара. М.: ВНИИПО, 1987. С. 5-16.
- [17]. Федоров В. С., Левитский В. Е. Диаграммный метод расчетной оценки огнестойкости железобетонных конструкций // Проект и реализация гаранты безопасности жизнедеятельности: Труды общего собрания РААСН СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 2006. Т. 2. С. 71-79.
- [18]. Федоров В.С., Левитинский В.Е., Молчадский И.С., Александров А.В. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2009. 408 с.
- [19]. Левитинский В.Е. Диаграммный метод решения статической задачи расчета огнестойкости железобетонных конструкций: Дис. канд. наук, МИИТ. М. 2006. 216 с.
- [20]. Жуков В. В., Молчадский И. С., Лавров В. Н. Определение расчетными методами пределов огнестойкости железобетонных конструкций // Пожарная безопасность. 2005. № 5. С. 37-42.
- [21]. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В.. Огнестойкость железобетонных изгибаемых конструкций, изготовленных по технологии постнапряжения // Пожарная безопасность. 2014. №3. С. 122-131.
- [22]. Голованов В. И., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Экспериментальные и аналитические исследования несущей способности большепролетных железобетонных балок при огневом воздействии // Пожарная безопасность. 2014. №3. С. 122-131.
- [23]. ENV 1992-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules Structure fire design.-Brussels CEN 1992.
- [24]. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций Москва 2006 100с.

- [25]. Фаликман В.Р. О европейских и российских строительных нормах проектирования и проблемах их гармонизации/ [Электронный ресурс]. URL: kazprom-file.s3.amazonaws.com/10497_falikmanec20102.doc (Дата обращения: 19.05.2016)
- [26]. Смотров Д. Г. Сравнительный анализ зарубежных и отечественных методик расчетов железобетонных конструкций с целью обеспечения безопасности объектов на этапе проектирования // Молодежь и XXI век 2012 (Материалы народной молодежной научной конференции). 2012. С. 103-107.
- [27]. Перспективы внедрения еврокодов в Российской Федерации / Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Староверов В. Д., Кришталевич А. К. // Вестник гражданских инженеров. 2015. №2(49). С. 107-115.
- [28]. Билюшова Т. П. Проблемы гармонизации национальных норм и еврокодов в странах ЕС // Вологдинские чтения. 2012. №80. С. 94-96.
- [29]. Гравит М. В. Гармонизация российских и европейских нормативных документов, регламентирующих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты // Пожаровзрывоопасность. 2014. Т.23. №5. С. 38-46.
- [30]. Гравит М. В. Особенности гармонизации российских и европейских нормативных документов, содержащих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с огнезащитой // Безопасность в чрезвычайной ситуации (Сборник научных трудов VI Всероссийской научнопрактической конференции). 2014. С. 231-237.
- [31]. Алмазов В. О. Гармонизация российских и международных норм по железобетону // Технология и организация строительного производства. 2011. №1. С. 16-20.
- [32]. Соломонов В. В., Кузнецова И. С. Как обеспечить огнестойкость железобетонных конструкций // Строительная газета №5. 02.2013.
- [33]. [Электронный ресурс]. URL: http://komitet3.km.duma.gov.ru/site.xp/051049055124054057050.html (Дата обращения 19.05.2016).
- [34]. Пугачев С. Еврокоды в строительстве: как решить проблемы внедрения // Строительство. 09.2014. С. 29-42.
- [35]. Недвига Е. С., Соловьева К. И., Киселев С. С. Способы защиты строительных конструкций от огневого воздействия // Молодой ученый. 2015. №24(104). С. 160-163.

Fire resistance of reinforced concrete structures: the basic principles of the calculation according to the norms of the Russian Federation and the European Union

L.L. Shurovkina^{1*}

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO	Articlehistory	Keywords
scientific article doi:	Received 17 April 2016	reinforced concrete structures; fire resistance; fire safety; design calculation; high-temperatures exposure;

ABSTRACT

Each year there is a big amount of fires in buildings and structures all around the world including the Russian Federation. The buildings and structures must correspond to modern structural safety requirements which include not only the calculation of load-bearing structures for strength and maintenance but also the calculation of the fire resistance. In this paper is given a comparative analysis of Russian and European standards for the design of reinforced concrete structures under fire exposure. Russian and European standards have differences in terms of determining the fire resistance of reinforced concrete structures. The main reason is the difference of the basic principles and design methods in the Russian Federation and the EU, the difference between the raw material base of countries, physical and geographical conditions. The main difference between standarts is term «fire safety» in Russian standarts. Design calculation on fire safety ensures their operation capacity after a fire exposure at a given fire endurance without structural reinforcement.

Corresponding author:

^{1*. +7(921)7676306,} Shurovkinalidia@yandex.ru (Lidia Leonidovna Shurovkina, Student)

References

- [1]. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/ (Data obrashcheniya: 08.02.2016).
- [2]. Borno O.I., Semenov A.YU., Belov N.N., Kvashnin D.G. Ognestoykost zdaniy i sooruzheniy kak odin iz vazhnyh faktorov v obespechenii promyshlennoy bezopasnosti [Fire resistance of buildings and structures as an important factor in ensuring industrial safety] // Neftegazovoe delo. 2015. №3. Pp. 739-749.
- Fedorov V.S. Osnovy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti zdaniy. [Basics of fire safety of buildings] M.: Izdvo ASV, 2004. 176 p.
- [4]. Huang, Z., Burgess, I. W., Plank, R.J. Three-dimensional analyses of reinforced concrete beam-column structures in fire // ASCE Journal of structural engineering. 2009. №135(10). pp. 1201-1212.
- [5]. Huang, Z., Burgess, I.W., Plank, R.J. Behaviour of Reinforced Concrete Structures in Fire // Structures in Fire Workshop, Aveiro, Portugal. 2006. pp. 561-572.
- [6]. Buchanan A. H. Structural Design for Fire Safety. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK. 2001.
- [7]. Zhang C., Usmani A. Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire // Fire Safety Journal. 2015. №78. pp. 85–95.
- [8]. M. Mohamed Bikhiet, Nasser F. El-Shafey, Hany M. El-Hashimy. Behavior of reinforced concrete short columns exposed to fire // Alexandria Engineering Journal. 2014. №53(3). pp. 643-653.
- [9]. Kodur V.K.R., Raut N.K.. Design equation for predicting fire resistance of reinforced concrete columns // Structural Concrete. 2009. №10(2). pp. 73–86.
- [10].Kodur V.K.R., Raut N.K.. Behavior of circular reinforced concrete columns under fire conditions // Journal of Structural Fire Engineering. 2012 №3(1). pp. 37–55.
- [11].Han L., Tan Q., Song T. Fire performance of steel reinforced concrete (SRC) structures // Journal of Structural Fire Engineering. 2013. №62. pp. 46–55.
- [12].Guo Z., Shi X.. Experiment and Calculation of Reinforced Concrete at Elevated Temperatures // Tsinghua University Press, Published by Elsevier Inc. 2011. 311 p.
- [13].Rodrigues J. P. C., Laim L. M., Korzen M. Fire behaviour of circular concrete columns with restrained thermal elongation // Journal of Advanced Concrete Technology. 2014. №12. pp. 289–298.
- [14].Milovanov A. F. Stoykost zhelezobetonnyh konstruktsiy pri pozhare [Durability of reinforced concrete structures in case of fire] M.: Stroyizdat, 1998. 304 p.
- [15]. Yakovlev A.I. Osnovy rascheta ognestoykosti zhelezobetonnyh konstruktsiy [Basis for calculation of fire resistance of reinforced concrete structures]: Dis. dokt. tehn. nauk / MISI. M., 1996. 515 p.
- [16] Yakovlev A.I. Raschet predelov ognestoykosti szhatyh zhelezobetonnyh konstruktsiy po kriticheskim deformatsiyam [Calculation of limits of fire resistance of reinforced concrete structures compressed by critical deformation] // Povedenie stroitel'nyh konstruktsiy v usloviyah pozhara. M.: VNIIPO, 1987. pp. 5-16.
- [17].Fedorov V. S., Levitskiy V. E. Diagrammnyy metod raschetnoy otsenki ognestoykosti zhelezobetonnyh konstrukciy [Diagram method of estimation of fire resistance of reinforced concrete structures] // Proekt i realizaciya - garanty bezopasnosti zhiznedejatel'nosti: Trudy obshchego sobraniya RAASN SPb.: SPb gos. arhit.-stroit. un-t, 2006. T. 2. pp. 71-79.
- [18] Fedorov V.S., Levitinskiy V.E., Molchadskiy I.S., Aleksandrov A.V. Ognestoykost i pozharnaya opasnost stroitelnyh konstruktsiy [Fire resistance and fire danger of building designs]. M.: Izd-vo ASV, 2009. 408 p.
- [19].Levitinskiy V.E. Diagrammnyy metod resheniya staticheskoy zadachi rascheta ognestoykosti zhelezobetonnyh konstruktsiy [A diagram method for solving the static problem of calculating the fire resistance of reinforced concrete structures]: Dis. kand. nauk, MIIT. M. 2006. 216 p.
- [20].Zhukov V. V., Molchadskiy I. S., Lavrov V. N. Opredeleniye raschetnymi metodami predelov ognestoykosti zhelezobetonnyh konstrukciy [Defining the limits of fire resistance of reinforced concrete structures by calculation methods] // Pozharnaya bezopasnost'. 2005. № 5. pp. 37-42.
- [21].V.I. Golovanov, V.V. Pavlov, A.V. Pekhotikov. Ognestoykost zhelezobetonnyh izgibaemyh konstruktsiy, izgotovlennyh po tekhnologii postnapryazheniya [Fire resistance of reinforced concrete bent designs made for prestressing technology] // Pozharnaya bezopasnost'. 2014. №3. pp. 122-131.
- [22].V.I. Golovanov, A.V. Pekhotikov, V.V. Pavlov. Eksperimentalnye i analiticheskie issledovaniya nesushchey sposobnosti bol'sheproletnyh zhelezobetonnyh balok pri ognevom vozdeystvii [Experimental and analytical studies of the bearing capacity of large-span reinforced concrete beams under fire exposure] // Pozharnaya bezopasnost'. 2014. №3. pp. 122-131.

- [23].ENV 1992-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules Structure fire design.- Brussels^ CEN 1992.
- [24].STO 36554501-006-2006. Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ognesohrannosti zhelezobetonnyh konstruktsiy Moskva 2006 100s.
- [25].Falikman V.R. O yevropeyskikh i rossiyskikh stroitelnykh normakh proyektirovaniya i problemakh ikh garmonizatsii [About the European and Russian construction norms of design and their harmonization] / [Elektronnyy resurs]. URL: kazprom-file.s3.amazonaws.com/10497_falikmanec20102.doc (Data obrashcheniya: 19.05.2016)
- [26]. Smotrov D. G. Sravnitelnyy analiz zarubezhnykh i otechestvennykh metodik raschetov zhelezobetonnykh konstruktsiy s tselyu obespecheniya bezopasnosti obyektov na etape proyektirovaniya [Comparative analysis of foreign and domestic methods of calculations of reinforced concrete structures to ensure the safety facilities at the design stage] // Molodezh i KhKhl vek 2012 (Materialy narodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii). 2012. S. 103-107.
- [27].Perspektivy vnedreniya yevrokodov v Rossiyskoy Federatsii [Prospects for the introduction of the Eurocodes in the Russian Federation] / Pukharenko Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D., Krishtalevich A. K. // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2015. №2(49). S. 107-115.
- [28].Bilyushova T. P. Problemy garmonizatsii natsionalnykh norm i yevrokodov v stranakh ES [Problems of harmonization of national standards and the Eurocodes in the EU]// Vologdinskiye chteniya. 2012. №80. S. 94-96
- [29].Gravit M. V. Garmonizatsiya rossiyskikh i yevropeyskikh normativnykh dokumentov, reglamentiruyushchikh metody ispytaniy na ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy s ispolzovaniyem sredstv ognezashchity [Harmonization of Russian and European regulations defining the testing methods for fire resistance of building structures with the use of fire protection] // Pozharovzryvoopasnost. 2014. T.23. №5. S. 38-46.
- [30].Gravit M. V. Osobennosti garmonizatsii rossiyskikh i yevropeyskikh normativnykh dokumentov, soderzhashchikh metody ispytaniy na ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy s ognezashchitoy [Features of harmonization of Russian and European regulatory documents containing the test methods for fire resistance of building structures with fire protection] // Bezopasnost v chrezvychaynoy situatsii (Sbornik nauchnykh trudov VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii). 2014. S. 231-237.
- [31].Almazov V. O. Garmonizatsiya rossiyskikh i mezhdunarodnykh norm po zhelezobetonu [Harmonization of Russian and international standards for reinforced concrete] // Tekhnologiya i organizatsiya stroitelnogo proizvodstva. 2011. №1. S. 16-20.
- [32].V.V. Solomonov, I.S. Kuznetsova. Kak obespechit' ognestoykost' zhelezobetonnyh konstruktsiy [How to ensure the fire resistance of reinforced concrete structures] // Stroitel'naya gazeta №5. 02.2013.
- [33].[Elektronnyy resurs]. URL: http://komitet3.km.duma.gov.ru/site.xp/051049055124054057050.html (Data obrashcheniya 19.05.2016).
- [34].Pugachev S. Evrokody v stroitel'stve: kak reshit' problemy vnedreniya [Eurocodes in construction: how to solve the problems of implementation] // Stroitel'stvo. 09.2014. pp. 29-42.
- [35].Nedviga E.S., Solov'yeva K.I., Kiselev S.S.. Sposoby zashchity stroitel'nyh konstruktsiy ot ognevogo vozdeystviya [Ways to protect structures from fire exposure] // Molodoy uchenyy. 2015. №24(104). pp. 160-163.

Шуровкина.Л.Л., Огнестойкость железобетонных конструкций: основные принципы расчета по нормам РФ и ЕС // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №6 (45). С. 89-101

Shurovkina L.L. Fire resistance of reinforced concrete structures: the basic principles of the calculation according to the norms of the Russian Federation and the European Union, 2016, 6 (45), Pp.89-101. (rus)