

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ: ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ

№ 2(34) – 2013

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Основан в 1995 году

Учредитель — учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, экономических, статистических и других данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации. Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора.

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» обязательна.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь по печати.
Регистрационное свидетельство № 1081

Журнал включен в список научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований, утвержденный приказом ВАК Республики Беларусь от 4 июля 2005 г. № 101

Подписной индекс в каталоге РУП «Белпочта» — 007922

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

доктор технических наук

Альгин В.Б.

доктор технических наук, профессор

Болодьян И.А.

кандидат психологических наук

Герасимчик А.П.

доктор физико-математических наук, профессор

Зуйков И.Е.

кандидат технических наук

Иванов Ю.С. (заместитель
главного редактора)

кандидат физико-математических наук

Кицак А.И.

доктор физико-математических наук

Ксенофонтов М.А.

кандидат технических наук

Кулаковский Б.Л.

Новиков Г.Ф. (ответственный
редактор)

доктор физико-математических наук

Лешенюк Н.С.

кандидат биологических наук

Лупей А.Ю.

кандидат физико-математических наук

Сагайдак Д.И.

доктор технических наук

Саечников В.А.

доктор технических наук

Тычино Н.А. (главный редактор)

доктор технических наук

Хасанов И.Р.

кандидат технических наук

Черневич О.В.

Шиян О.В. (ответственный
секретарь)

Журнал рекомендован к изданию решением Редакционно-издательского совета учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь.

Адрес редакции:

220046, г. Минск, ул. Солтыса, 183а.

Телефоны:

(017) 246-41-53

(017) 299-96-30

(017) 246-50-84

(017) 246-43-99

Факс: (017) 246-57-31

E-mail: niipb@anitex.by

Ответственный за выпуск — *Малашенко С.М.*

Подписано к печати 16.05.2013. Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,39.

Тираж 150. Заказ 1646.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии УП «Промбытсервис».

Лицензия на право осуществления полиграфической деятельности от 03.04.2009 № 02330/0494132.

© *Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, 2013*

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ.....	5
Новиков Г.Ф., Батаев Е.В. Взгляд на будущее гражданской обороны.....	5
Деев Н.А., Мильман В.А., Лупей А.Ю. О результатах научных исследований по подпрограмме «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций 2015»	12
Кудряшов В.А., Бурдыко П.В. Яцукович А.Г., Лупандин А.Е. Экспериментальная оценка скорости обугливания древесины, обработанной огнезащитными средствами	24
Антошин А.А., Бокуть Л.В., Деев Н.А. Функционирование пожарной автоматики при пожаре в высотных зданиях	32
Ренкас А.А., Гулида Э.Н. Стойкость железобетонных плит перекрытия после неравномерного прогрева во время пожара	40
Андронов В.А., Калугин В.Д., Кустов М.В. Установка для исследования горючих и огнезащитных свойств веществ и материалов при различных условиях.....	47
Новиков Г.Ф., Иванов Ю.С., Проровский В.М., Ходин М.В., Себровский А.С. Проведение пожарно-профилактической работы в жилом секторе в зависимости от сезонов года.....	52
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПОЖАРОВ И АВАРИЙ.....	57
Сенько Д.Г., Меленчук В.В., Лешкевич М.С., Лупандин А.Е. Решение проблем обнаружения пожара на ранней стадии и исключения ложных срабатываний пожарной сигнализации	57
Катковский Л.В., Хвалей С.В., Шукайло В.Г., Сизиков А.С. Особенности распознавания зон ЧС по их спектральным характеристикам на примере АСК-ЧС.....	66
Баровик Д.В., Таранчук В.Б., Школьников Л.В. Структура и функционал модуля «Оперативно-аналитический блок» программного комплекса регистрации и обработки сообщений о чрезвычайных ситуациях.....	81
Герман О.В., Таранчук В.Б., Школьников Л.В. Программно-алгоритмическое обеспечение компонента оптимизации в составе оперативно-аналитического блока по учету и обработке информации о чрезвычайных ситуациях.....	91

Ренкас А.А., д-р техн. наук, проф. Гулида Э.Н.
Стойкость железобетонных плит перекрытия
после неравномерного прогрева во время пожара

*Львовский государственный университет
безопасности жизнедеятельности, г. Львов*

Проанализированы методы определения коэффициентов условий работы бетона и арматуры, а также методики проверки стойкости железобетонных плит перекрытия после пожара. Разработан метод определения остаточной прочности материалов железобетонной конструкции с учетом развития реального пожара. Проведен расчет температурных полей в железобетонной многослойной плите при неравномерном ее прогреве. Определена остаточная прочность конструкции после пожара на основе результатов расчета температурных полей.

Ключевые слова: остаточная прочность, железобетонная плита перекрытия, неравномерный прогрев.

A.A. Renkas, Dr. (Tech.), prof. E.N. Gulida
Resistance of reinforced concrete slabs
after uneven heating during the fire

Lviv State University of Life Safety, Lviv

In the article the methods of determining the coefficients of the working conditions for concrete and reinforcement have been analyzed. Also the methods of checking resistance for reinforced concrete slabs after the fire have been reviewed. The method of determining residual strength of concrete construction herewith included the development of a real fire has been developed. The calculation of temperature fields in concrete hollow-core slabs with uneven heating of it has been performed. In the article the residual strength of concrete construction after the fire that based on results of calculation temperature fields has been defined.

Keywords: residual strength, reinforced concrete floor slab, uneven heating.

Введение

При пожаре в помещениях возможны разные сценарии распространения пламени. В некоторых случаях возникают локальные пожары, когда фронт пламени не распространяется. При этом происходит неравномерный прогрев конструкции. В результате прогрева происходит снижение прочностных характеристик бетона и арматуры. В этом случае возможно

серьезное повреждение этих конструкций. Вследствие этого возникает вопрос о возможности их дальнейшей эксплуатации, а также проблема определения остаточной прочности и стойкости конструкции после такого пожара.

В методиках расчета огнестойкости железобетонных конструкций [1-3] приведены коэффициенты условий работы для арматуры и бетона

после пожара, которые учитываются при расчете на прочность этих материалов. Если сравнить коэффициенты условий работы при нагревании во время пожара с коэффициентами работы после пожара, то можно сделать вывод, что для бетона они не сильно отличаются. Это значит, что прочностные характеристики бетона не восстанавливаются. Прочностные характеристики арматуры возобновляются для некоторых ее классов на 100 % (А-I, А-II, А-III) [2]. В работе [4] приведены экспериментальные значения этих коэффициентов и установлено, что самое большое совпадение для сжатой зоны бетона наблюдается в методике [2], а для растянутой – в методике [1]. В работе [5] также представлены результаты экспериментальных исследований прочности железобетонных конструкций и предложены методы оптимизации состава бетона для обеспечения стойкости этих конструкций во время и после пожара. При этом авторы указывают на необходимость учета сценария температурного влияния на конструкцию.

Цель работы

Целью работы является определение остаточной прочности бетона и арматуры, а также стойкости железобетонной плиты перекрытия после локального пожара с учетом неравномерного прогрева.

Постановка задачи и ее решение

При пожаре в помещении возможен такой вариант развития, когда пламя не распространяется по всей

его площади. Для моделирования такого пожара необходимо использование полевой модели пожара в помещении. В основе этой модели лежит система дифференциальных уравнений в частных производных Навье-Стокса. Полевое моделирование невозможно без использования компьютерной техники. Для определения температур в помещении при пожаре в таких случаях используют CFD пакеты (Computational Fluid Dynamics).

В работе [6] на основе полного факторного эксперимента была получена математическая модель для определения температуры в любой точке помещения. Модель проверена на адекватность критерием Фишера. Зависимость имеет следующий вид:

$$t_i = t_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau_{c.p.n.}^{0,18} \cdot (Z+0,1)^{1,5} \cdot S_n^{0,13}}{(x+0,1)^{0,71}}, \quad (1)$$

где $t_{o.n.}$ – теоретическая температура очага пожара, зависящая от теплоты сгорания материала, °С;

C_T – коэффициент пропорциональности,
 $C_T = 0,014 \text{ м}^{0,45} / (\text{мин}^{0,18} \cdot \text{кг}^{0,75})$;

G – пожарная нагрузка в помещении, кг/м²;

$\tau_{c.p.n.}$ – время свободного развития пожара, мин;

Z – высота, на которой определяется температура, м;

S_n – площадь пожара, м²;

x – расстояние, на котором определяется температура, м.

С помощью этой модели также можно определить температуру на приграничном слое с ограждающими конструкциями (в нашем случае с же-

лезобетонной плитой перекрытия). После этого необходимо рассчитать температурные поля в самой конструкции. Поскольку железобетонная плита прогревается неравномерно, а

также имеет пустоты в поперечном разрезе (рисунок 1), то необходимо рассматривать двумерное уравнение теплопроводности.

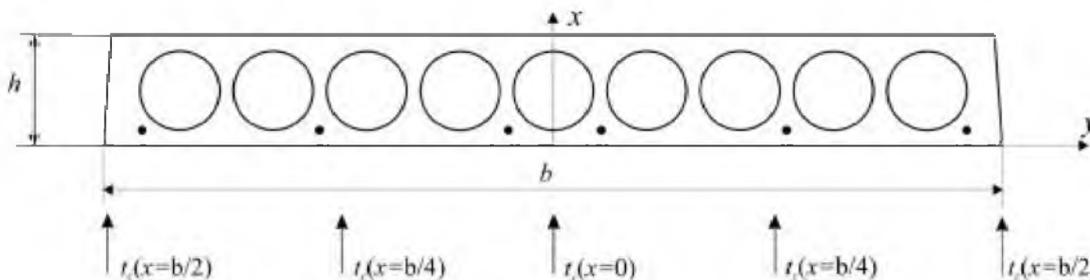


Рисунок 1 – Поперечное сечение железобетонной многопустотной плиты перекрытия

Двумерное уравнение теплопроводности записывается в виде

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \cdot \rho(t) \cdot c(t) = \lambda(t) \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

с начальными условиями

$$\tau = 0; \quad t = t_0; \quad \frac{b}{2} \leq x \leq \frac{b}{2}; \quad 0 \leq y \leq h, \quad (3)$$

и граничными условиями

$$\begin{aligned} x = \frac{b}{2}; \quad 0 \leq y \leq h; \quad \frac{\partial t}{\partial x} &= 0, \quad t > 0, \\ y = 0; \quad \frac{b}{2} \leq x \leq \frac{b}{2}; \quad -\lambda(t) \cdot \frac{\partial t}{\partial y} &= \alpha_1 \cdot (t_c - t_w) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (t_c^4 - t_w^4), \quad t > 0, \\ y = h; \quad \frac{b}{2} \leq x \leq \frac{b}{2}; \quad -\lambda(t) \cdot \frac{\partial t}{\partial y} &= \alpha_2 \cdot (t_{c0} - t_{w0}), \quad t > 0. \end{aligned} \quad (4)$$

где ε – степень черноты системы «среда – обогреваемая поверхность конструкции» (принимается 0,8);

α_1 и α_2 – коэффициент теплообмена для обогреваемой поверхности (принимается 35 Вт/(м²·°C)) и необогреваемой поверхности (принимается 9 Вт/(м²·°C)) соответственно;

$\lambda(t)$ – коэффициент теплопроводности, зависящий от температуры Вт/(м·°C);

$c(t)$ – удельная теплоемкость бетона, Дж/(кг·°C);

$\rho(t)$ – плотность бетона, кг/м³;

t_c – температура среды со стороны обогреваемой поверхности, °C;

t_w – температура обогреваемой поверхности, °С;

t_{c0} – температура среды со стороны необогреваемой поверхности, °С;

t_{w0} – температура необогреваемой поверхности, °С.

Нелинейные характеристики бетона (коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, плотность), зависящие от температуры, для расчета были взяты согласно EN 1992–1-2:2004 Eurocode 2 [7]. При

этом в полостях железобетонной плиты осуществляется взаимный радиационный теплообмен в замкнутой системе. Конвективный теплообмен и теплообмен теплопроводностью не рассматриваются, потому что они незначительно влияют на температуру системы [8].

Прочность однопролетной железобетонной многпустотной плиты перекрытия проверяем из следующего условия:

$$M_{\max} \leq z_b \cdot \sum_{k=1}^n A_{sk} \cdot k_{sk}(t) \cdot f_{d,sk} + z_b \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m k_{bij}(t) \cdot \chi_i \cdot b_j \cdot f_{d,ck}, \quad (5)$$

где M_{\max} – максимальный изгибаемый момент, Н·м;

z_b – расстояние от арматуры к середине сжатой зоны, м;

A_{sk} – площадь поперечного сечения k -ой арматуры, м²;

$k_{sk}(t)$ – коэффициент снижения прочности k -ой арматуры на растяжение;

$f_{d,sk}$ – прочность арматуры на растяжение, МПа;

$k_{bij}(t)$ – коэффициент снижения прочности i -ого слоя j -ого сечения бетона на сжатие;

χ – сжатая зона бетона, м;

$f_{d,ck}$ – прочность бетона на сжатие, МПа;

$n b m$ – номера ячейки.

Коэффициент снижения прочности приведен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Коэффициент снижения прочности арматуры после пожара [2]

Класс арматуры	Снижение прочности после пожара, %, при температуре ее прогрева, °С		
	300	400	500
А-I, А-II, А-III	Нет	Нет	Нет
А-IV, А-V, А-VI	Нет	5	10
АТ-IV, АТ-V, АТ-VI	Нет	10	20
В-II, Вр-II, К7	Нет	30	60

Таблица 2 – Коэффициент снижения прочности бетона после пожара [2]

Вид бетона и условия твердения	Снижение прочности после пожара, %, при температуре его прогрева, °С						
	60	120	150	200	300	400	500
Тяжелый с гранитным заполнителем, естественное	30	30	30	30	40	60	70
То же, тепловлажностная обработка	15	20	20	20	20	30	45
То же, с известняковым заполнителем	15	20	20	25	25	40	60
Легкий с керамзитовым заполнителем, тепловлажностная обработка	10	10	10	10	10	15	20

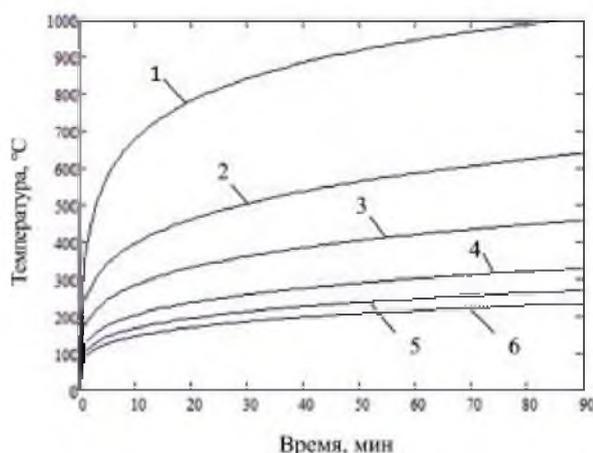
Рассмотрим методику определения остаточной прочности однопроектной железобетонной многопустотной плиты перекрытия на примере.

Пример. Пожар произошел в квартире жилого помещения шириной 4 м, длиной 6 м и высотой 2,5 м. Пожарная нагрузка – мебель и бытовые изделия из расчета 50 кг/м² с нижней теплотой сгорания 13 800 кДж/кг [8]. Установлено, что площадь пожара была 1...2 м², а время длительности пожара – 1 час. Перекрытие помещения – железобетонная плита перекрытия длиной 6280 мм, шириной 1790 мм, толщи-

ной 220 мм, диаметром отверстий 159 мм. Бетон – тяжелый на гранитном заполнителе В15. В плите на глубине 20 мм размещена арматура класса Ат-V в количестве 6 шт., диаметром 12 мм. Нормативная нагрузка на плиту – 4903 Н/м², а нагрузка от собственного веса – 2927 Н/м².

Решение поставленной задачи выполняем в следующей последовательности.

1. С помощью зависимости (1) определяем температуру на пограничном слое между средой и обогреваемой поверхностью. Результаты расчета представлены на рисунке 2.



1 – над очагом пожара; 2 – на расстоянии 0,25 м; 3 – на расстоянии 0,5 м; 4 – на расстоянии 1 м; 5 – на расстоянии 1,5 м; 6 – на расстоянии 2 м

Рисунок 2 – Изменение температуры (°C) во времени

2. Вычисляем температурные поля в железобетонной плите перекрытия, решая задачу теплопроводности (2) с граничными

условиями (3) и (4) при помощи метода конечных элементов. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

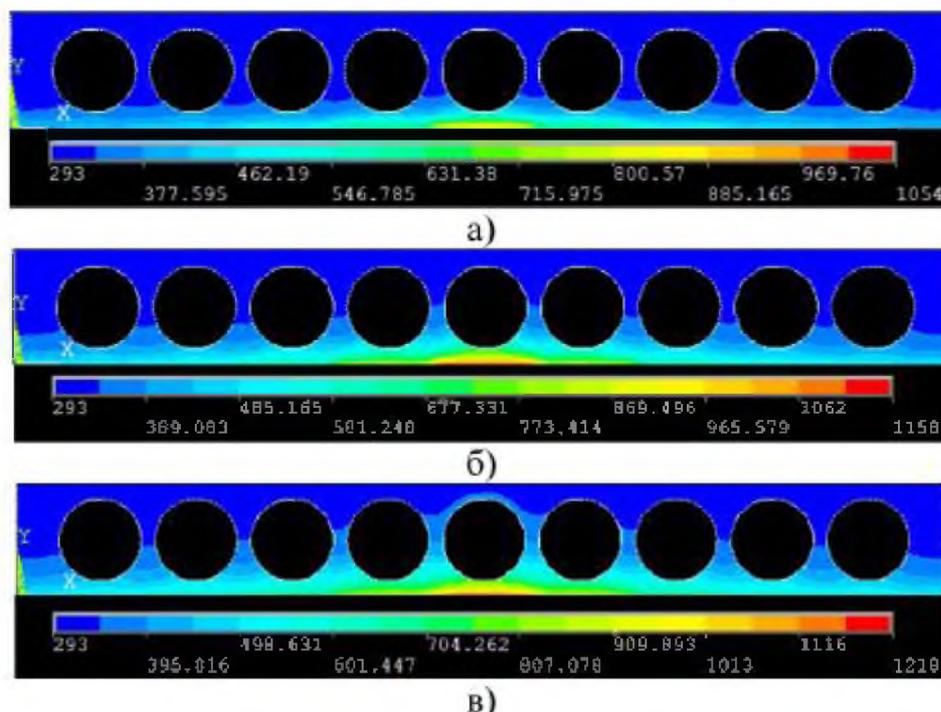


Рисунок 3 – Температурные поля (°К) в железобетонной плите перекрытия при пожаре в помещении: а) на 20-й минуте; б) на 40-й минуте; в) на 60-й минуте

При локальном пожаре на 60-й минуте арматура, которая находится посередине плиты, прогревается до 409 °С (при $x = \pm 0,1$ м, $y = 0,02$ м). В арматуре с координатами $x = \pm 0,475$ м, $y = 0,02$ м температура на 60-й минуте была равна 214 °С, а в арматуре с координатами $x = \pm 0,825$ м, $y = 0,02$ м – 151 °С. В этом случае прочность арматуры, которая находится посередине плиты, снизится на 10 %. Рассмотрим прогрев бетона в сжатой зоне. Бетон прогревается до температуры от 91 °С ($x = \pm 0$ м, $y = 0,19$ м) до 25 °С ($x = \pm 0,895$ м, $y = 0,19$ м).

4. Проверяем условие прочности железобетонной плиты перекрытия. Максимальный изгибаемый момент в однопролетной плите будет составлять

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{(q_n + p) \cdot b \cdot l^2}{8} = \frac{(4903 + 2927) \cdot 1,79 \cdot 6,28^2}{8} = 80330 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где q_n – нормативная нагрузка на плиту, Н/м²;

p – нагрузка от собственного веса, Н/м²;

l – длина плиты, м.

Находим значение правой части зависимости (5)

$$z_b \cdot \sum_{k=1}^6 A_{sk} \cdot k_{sk}(t) \cdot f_{d,sk} + z_b \cdot \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 k_{bij}(t) \cdot \chi_i \cdot b_j \cdot f_{d,ck} =$$

$$= 0,18 \cdot 706 \cdot 10^6 \cdot 0,36 \cdot 10^{-4} (0,9+0,9+1+1+1+1) +$$

$$+ 0,18 \cdot 9,35 \cdot 10^6 \cdot 0,6 \cdot 0,01 \cdot (0,7+0,7+0,7+1+1+1+1+1) =$$

$$= 15580 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Видно, что условие прочности после пожара для этого случая обеспечивается ($80\,330 \text{ Н}\cdot\text{м} < 155\,800 \text{ Н}\cdot\text{м}$). В этом случае возможна дальнейшая эксплуатация этой железобетонной плиты перекрытия после пожара.

Заключение

1. Разработана методика определения остаточной прочности железобетонной плиты перекрытия, что позволяет определить возможность ее эксплуатации после локального пожара в помещении.

2. Проведенные вычисления показали, что при локальном пожаре в жилом помещении на протяжении 60 мин арматура прогревается от 409 до 151 °С, а сжатая зона бетона – от 91 до 25 °С. При этом при проверке прочности условия стойкость нашей конструкции обеспечивается.

3. Необходимо дальнейшее усовершенствование метода и внедрение его для определения остаточной прочности после пожара.

сти и огнестойкости железобетонных конструкций. – М., 2006. – 81 с.

2. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром. – М., 1987. – 80 с.

3. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций. – М.: Изд. «НИИЖБ», 2000. – 92 с.

4. Булла, С.С. Дослідження залишкової міцності залізобетонних елементів при дії місцевого нагрівання / С.С. Булла, Т.В. Стойко // Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 69–73.

5. György L. Balázs, Éva Lublőy Reinforced concrete structures in and after fire / Concrete structures. – 2012. – P. 72–80.

6. Гуліда, Е.М. Моделювання пожежі в закритому приміщенні / Е.М. Гуліда, А.А. Ренкас, О.В. Меньшикова // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Випуск 22.6. – С. 307-317.

7. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.

8. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 36554501-006-2006
Правила по обеспечению огнестойко-

