

**А. Д. ГОЛИКОВ**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника по научной работе, Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности (НИИПИИТвОБЖ), Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: golikad@mail.ru)

**Е. Ю. ЧЕРКАСОВ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИПИИТвОБЖ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: cherkasovspb@inbox.ru)

**А. И. ДАНИЛОВ**, руководитель группы ПБ и ГОЧС, ОАО "Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт "Ленметрогипротранс" (Россия, 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Московская, 2; e-mail: adanilav@gmail.com)

**И. А. СИВАКОВ**, аспирант, ассистент кафедры компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, Санкт-Петербургский научно-исследовательский университет информационных технологий механики и оптики (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, лит. А; e-mail: i.a.sivakov@gmail.com)

УДК 614.849

## ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЧУГУННЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК МЕТРОПОЛИТЕНА БЕЗ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Показано, что обрушение несущих конструкций тоннелей метрополитена при пожарах сильно осложняет тушение и на длительный срок нарушает нормальное функционирование транспортной магистрали. Рассмотрена проблема обеспечения огнестойкости перегонных тоннелей метрополитенов с обделкой из чугунных тубингов. Показано, что существующие методики расчета пределов огнестойкости стальных конструкций не учитывают специфику применения чугунных тубингов (их значительную толщину, различие физико-механических свойств чугуна и стали и теплоотдачу с необогреваемой поверхности тубингов в окружающий грунт).

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; огнестойкость; тоннель; чугун.

Исследование реферативного журнала ВИНТИ "Пожарная охрана" за 1982–2013 гг. показало отсутствие публикаций по огнестойкости несущих элементов строительных конструкций из чугуна. Это необоснованно забытая тема, так как к эксплуатируемым социально значимым сооружениям, в которых применяются чугунные конструкции, — тоннелям метрополитенов предъявляется требование по пределу огнестойкости по несущей способности 60 мин для эскалаторных и 90 мин для перегонных тоннелей [1]. Из чугунных тубингов изготавливаются обделки тоннелей глубокого заложения, работающих в тяжелых условиях. В силу значительной протяженности объекта и условий эксплуатации установка и поддержание в работоспособном состоянии огнезащитных покрытий связаны с большими финансовыми и временными затратами. Существующая ситуация приводит к тому, что отсутствует возможность обоснованной оценки фактического предела огнестойкости чугунных конструкций и определения достаточности мероприятий по их огнезащите.

Целью данной работы является оценка возможности расчетного определения фактического пре-

дела огнестойкости конструкций из чугуна, использующихся при строительстве тоннелей метрополитена.

Следствием потери несущей способности в соответствии с п. 8.1.1 ГОСТ 30247.1–94 [2] является обрушение конструкции. Нагрев строительной конструкции приводит к снижению ее несущей способности, и если механическая нагрузка превышает последнюю, то происходит обрушение конструкции.

На практике при расчете огнестойкости строительных конструкций, в том числе металлоконструкций, применяется статический подход. Несущая способность при пожаре определяется из уравнений предельного равновесия, соответствующих определенным схемам разрушения. Основными параметрами, учитывающими тепловое воздействие пожара на конструкции, являются показатели изменения прочности и деформативности материалов при нагреве. При этом считается, что разрушение происходит внезапно, при достижении внешней силой некоторой предельной величины, называемой пределом прочности. Критическая температура нагрева материала отражает критический характер разрушения такой статической системы при нагре-

© Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Данилов А. И., Сиваков И. А., 2014

ве под нагрузкой. При этом считается, что при нагрузке или температуре, меньшей предельно допустимой, материал остается целым сколь угодно долго, и такая нагрузка или температура считается безопасной. В рамках статического подхода в условиях высокотемпературного нагрева изменение прочности можно представить в виде однозначных зависимостей *прочность – температура*. В безразмерном относительном виде такая зависимость называется температурным коэффициентом условий работы  $\gamma_t$  и имеет вид:

$$\gamma_t = R(T)/R, \quad (1)$$

где  $R$  — сопротивление материала в нормальных условиях;

$R(T)$  — сопротивление материала в условиях стандартного режима нагрева.

В работах первой половины XX века [3] указывается, что чугунные конструкции при нагреве теряют прочность в меньшей степени, чем стальные: “Несущая способность уменьшается у сварочного железа при 550 °С на 60 %. Гораздо устойчивее оказывается чугун. Чтобы понизить в такой же мере его способность выдерживать нагрузку, нужно воздействие температуры 700 °С”.

На рис. 1 приведены зависимости температурных коэффициентов условий работы чугуна [4, 5] и стали от температуры [6]. Из рис. 1 можно видеть, что критической температуре 500 °С для стали соответствует значение  $\gamma_t = 0,58$ , а для серого чугуна —  $\gamma_t = 636$  °С.

Предел огнестойкости несущих элементов металлических конструкций зависит от приведенной толщины  $\delta_{red}$ , которая обычно определяется по формуле [7]:

$$\delta_{red} = A/u, \quad (2)$$

где  $A$  — площадь поперечного сечения;

$u$  — обогреваемая часть периметра сечения.

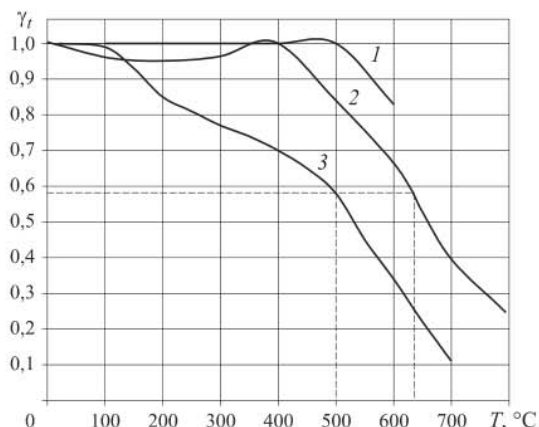
Поскольку приведенные толщины тьюбингов могут составлять более 30 мм и теплофизические свойства серого чугуна несколько отличаются от свойств конструкционной стали, были проведены сравнительные расчеты прогрева конструкций без огнезащиты в соответствии с [8, 9]. Теплофизиче-

**Таблица 1.** Зависимость удельной теплоемкости серого чугуна от температуры [12]

Температура, °С	0	160	260	360	510
$C$ , Дж/(кг·°С)	502	523	553	586	620

**Таблица 2.** Зависимость температурного коэффициента условий работы  $\gamma_t$  серого чугуна от температуры [5]

Температура, °С	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	950
Коэффициент $\gamma_t$	1,00	0,96	0,95	0,96	1,00	0,84	0,68	0,39	0,25	0,11	0,05



**Рис. 1.** Зависимость температурного коэффициента условий работы  $\gamma_t$  от температуры: 1 — серый чугун [4]; 2 — серый чугун [5]; 3 — сталь [6]

ские и прочностные характеристики серого чугуна СЧ20, взятые по данным [5, 10–12], а также конструкционной стали [9] и грунта (глины и известняка [13]) приведены в табл. 1–3.

Минимальное значение коэффициента теплоотдачи с металлической стенки в воду  $\alpha = 350$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [14].

Для учета теплоотдачи с поверхности контакта тьюбингов с грунтом приведенная толщина  $\delta_{red}$  определяется по формуле

$$\delta_{red} = \frac{M}{0,5(F_{нагр} + F_{отд})\rho}, \quad (3)$$

где  $M$  — масса тьюбинга;

$\rho$  — плотность чугуна;

$F_{нагр}$  — обогреваемая площадь поверхности тьюбинга;

$F_{отд}$  — площадь поверхности тьюбинга, контактирующей с окружающим тоннель грунтотом.

Испытания на огнестойкость образцов строительных конструкций проводятся при воздействии на их поверхность стандартного температурного режима пожара, определяемого в виде следующей зависимости:

$$T = T_0 + 345 \lg \left( \frac{8}{60} \tau + 1 \right), \quad (4)$$

где  $T_0$  — начальная температура;

$\tau$  — время с момента начала испытаний, с.

Расчет распределения температуры в поперечном сечении обделки тоннеля и окружающем грунте производился путем численного решения уравнения теплопроводности с учетом зависимости тепло-

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Таблица 3. Теплофизические и прочностные характеристики серого чугуна, стали и грунта

Показатель	Чугун серый	Сталь	Грунт	
			Глина	Известняк [13]
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7100 [5]	7800	2000	2100
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	52 [11]	48–3,65·10 <sup>-2</sup> T*	1,71	1,25
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)	См. табл. 1	440 + 0,48T	1,42	0,92
Влажность, %	–	–	30	50

\* T — температура, °C.

физических характеристик материалов от температуры:

$$c \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \text{div} (\lambda \text{grad } T) - Q, \quad (5)$$

где  $c, \rho, \lambda$  — удельная теплоемкость, плотность и теплопроводность материала;  
 $Q$  — тепло, затрачиваемое на испарение влаги, содержащейся в материалах;

$$Q = r \phi \rho \delta (T - 100); \quad (6)$$

$r$  — скрытая теплота парообразования физически связанной воды огнезащитного материала, Дж/кг;

$\delta(T - 100)$  — дельта-функция ( $\delta(T - 100) = 0$  при  $T > 100$ ;  $\delta(T - 100) \rightarrow \infty$  при  $T = 100$ );

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(T - 100) dT = 1.$$

Граничные условия задачи описывались уравнением лучистого и конвективного теплообмена между внутренней поверхностью конструкции и окружающей средой:

$$-\lambda \text{grad } T = \alpha_k (T_r - T_n) + \varepsilon_{np} \sigma [(T_r + 273)^4 - (T_n + 273)^4], \quad (7)$$

где  $\alpha_k$  — коэффициент конвективного теплообмена для обогреваемой поверхности;  $\alpha_k = 29 \text{ Вт/м}^2$ ;  
 $\varepsilon_{np}$  — приведенная степень черноты системы обогревающая среда – поверхность конструкции;  
 $\varepsilon_{np} = 0,72$ ;

$\sigma$  — постоянная Стефана – Больцмана;

$T_n, T_r$  — температура соответственно поверхности конструкции и газовой фазы, °C.

По линии контакта чугуна и грунта приняты условия равенства температур и тепловых потоков.

Коэффициенты теплообмена взяты из [2] для условий испытаний в огневой печи.

Принималось, что целостность конструкции сохраняется, если за время теплового воздействия средняя температура конструкции не превысит критического значения 636 °C.

Результаты расчетов при условии устройства теплоизоляции на необогреваемой поверхности приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что серый чугун

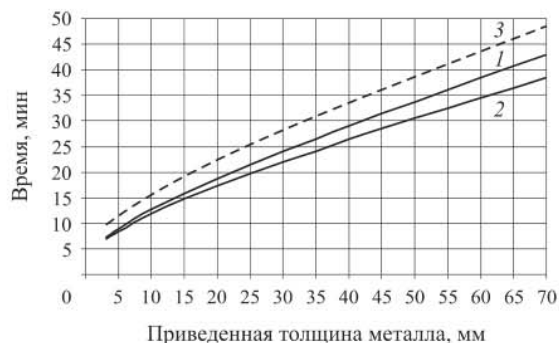


Рис. 2. Зависимость времени достижения критической температуры от приведенной толщины металла конструкции: 1 — сталь, 500 °C; 2 — чугун, 500 °C; 3 — чугун, 636 °C

прогревается быстрее конструкционной стали (кривые 1 и 2), однако до критической температуры 636 °C чугун прогревается дольше, чем сталь до 500 °C (кривые 1 и 3). Кроме того, из результатов расчетов следует, что необходимо учитывать влияние теплоотдачи в грунт с необогреваемой поверхности конструкции.

На рис. 3 приведена расчетная схема, использованная при проведении тепловых расчетов. Область I, ограниченная линиями 1–2–7–6, — чугун; область II, ограниченная линиями 3–4–5–7, — грунт. На линии 1 определено условие воздействия пожара, 2–6 — теплоизоляции, 7 — равенство температур и тепловых потоков на границе раздела *чугун – грунт*. Толщина слоя грунта за обделкой принята равной 0,3 м. В случае наличия воды за обделкой тоннеля область II отсутствует, а по линии 7 устанавливается условие конвективной теплоотдачи.

Для оценки фактического предела огнестойкости конструкций проведен тепловой расчет зависимости

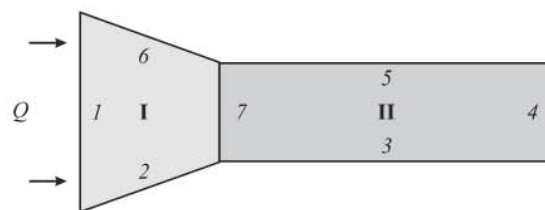


Рис. 3. Расчетная схема прогрева конструкции: I — чугун; II — грунт; Q — воздействие пожара

мости средней температуры тюбингов эскалаторных и перегонных тоннелей от времени теплового воздействия пожара.

При строительстве эскалаторных тоннелей используются тюбинги Н из серого чугуна СЧ21-40 массой 658 кг, скрепленные между собой стальными болтами. При эксплуатации тоннеля болты не несут нагрузки. Грунт за обделкой тоннеля — глина влажностью 30 %.

Площади нагрева и контакта с грунтом определены по чертежам тюбинга:  $F_{\text{нагр}} = 3,3 \text{ м}^2$ ;  $F_{\text{отд}} = 1,55 \text{ м}^2$ .

По формуле (2) получаем  $\delta_{\text{ред}} = 38,2 \text{ мм}$ .

Зависимость средней температуры тюбинга тоннеля от времени приведена на рис. 4. Как видно из рисунка, средняя температура тюбинга на 60-й минуте составляет 625 °С, что ниже критического значения 636 °С.

Таким образом, расчет прогрева обделки эскалаторного тоннеля со сборной обделкой из тюбингов Н из чугуна СЧ21-40 показал, что при воздействии стандартного температурного режима пожара предел огнестойкости по несущей способности составляет не менее 60 мин при данных свойствах окружающего грунта.

При строительстве перегонных тоннелей используются тюбинги Н-3-Л, Н-2-Л, С-2-Л, К-2-Л из серого чугуна. В табл. 4–6 приведены результаты расчета средних температур и соответствующих температурных коэффициентов условий работы для тюбингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 45; 60 и 90 мин. Для возможности оценки влияния влажности грунтов в таблицы были добавлены результаты, полученные для грунтов с влажностями, отличными от заданных.

Анализ результатов исследований огнестойкости конструкций обделки тоннеля со сборной обделкой из тюбингов Н-3-Л, Н-2-Л, С-2-Л, К-2-Л из чугуна СЧ20 показал, что при воздействии стандартного температурного режима пожара предел огнестойкости по несущей способности составляет не менее

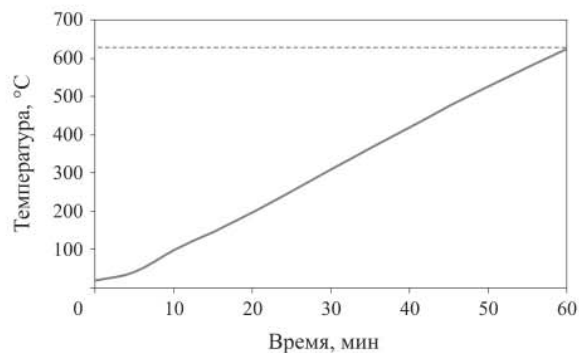


Рис. 4. Зависимость средней температуры тюбинга от времени воздействия стандартного температурного режима пожара

Таблица 4. Средние температуры и соответствующие им температурные коэффициенты условий работы для тюбингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 45 мин

Тип тюбинга	Приведенная толщина, мм	Тип грунта	Влажность грунта, %	Средняя температура, °С	$\gamma_t$
К-2-Л	35,9	Глина	0	560	0,74
			10	538	0,79
			20	522	0,83
			30	507	0,85
Н-2-Л	31,7		0	571	0,72
			10	547	0,78
			20	528	0,81
			30	512	0,84
Н-3-Л	25,9		0	626	0,59
			10	601	0,65
			20	581	0,70
			30	563	0,74
С-2-Л	32,2		0	565	0,74
			10	540	0,79
			20	521	0,83
			30	505	0,86
К-2-Л	35,9	Известняк	0	589	0,68
			3	581	0,70
			10	566	0,73
			50	511	0,85
Н-2-Л	31,7		100	468	0,91
			0	606	0,64
			3	597	0,66
			10	579	0,70
Н-3-Л	25,9		50	516	0,84
			100	467	0,91
			0	665	0,49
			3	656	0,52
С-2-Л	32,2		10	638	0,56
			50	571	0,72
			100	519	0,83
			0	599	0,66
К-2-Л	35,9	Вода	3	590	0,68
			10	572	0,72
			50	509	0,85
			100	461	0,92
Н-2-Л	31,7		–	295	0,98
Н-3-Л	25,9		–	277	0,97
С-2-Л	32,2		–	289	0,98
К-2-Л	35,9		–	274	0,97

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Таблица 5.** Средние температуры и соответствующие им температурные коэффициенты условий работы для тубингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 60 мин

Тип тубинга	Приведенная толщина, мм	Тип грунта	Влажность грунта, %	Средняя температура, °С	$\gamma_t$
К-2-Л	35,9	Глина	0	712	0,38
			10	692	0,43
			20	676	0,47
			30	662	0,50
Н-2-Л	31,7		0	720	0,37
			10	698	0,42
			20	680	0,46
			30	664	0,50
Н-3-Л	25,9		0	767	0,28
			10	747	0,31
			20	730	0,35
			30	714	0,38
С-2-Л	32,2		0	714	0,38
			10	692	0,43
			20	673	0,47
			30	657	0,51
К-2-Л	35,9	Известняк	0	745	0,32
			3	739	0,33
			10	725	0,36
			50	670	0,48
			100	624	0,60
Н-2-Л	31,7		0	758	0,29
			3	750	0,31
			10	735	0,34
			50	673	0,47
			100	622	0,60
Н-3-Л	25,9		0	804	0,22
			3	797	0,23
			10	784	0,25
			50	726	0,35
			100	676	0,47
С-2-Л	32,2		0	752	0,30
			3	744	0,32
			10	729	0,35
			50	666	0,49
			100	614	0,62
К-2-Л	35,9	Вода	–	403	0,97
Н-2-Л	31,7		–	405	0,97
Н-3-Л	25,9		–	408	0,97
С-2-Л	32,2		–	405	0,97

**Таблица 6.** Средние температуры и соответствующие им температурные коэффициенты условий работы для тубингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 90 мин

Тип тубинга	Приведенная толщина, мм	Тип грунта	Влажность грунта, %	Средняя температура, °С	$\gamma_t$
К-2-Л	35,9	Глина	0	895	0,12
			10	884	0,13
			20	874	0,14
			30	864	0,15
Н-2-Л	31,7		0	895	0,12
			10	883	0,14
			20	872	0,15
			30	861	0,16
Н-3-Л	25,9		0	915	0,10
			10	905	0,11
			20	896	0,12
			30	887	0,13
С-2-Л	32,2		0	892	0,13
			10	879	0,14
			20	868	0,15
			30	857	0,16
К-2-Л	35,9	Известняк	0	921	0,09
			3	917	0,10
			10	909	0,11
			50	873	0,15
			100	832	0,19
Н-2-Л	31,7		0	922	0,09
			3	919	0,10
			10	910	0,11
			50	898	0,12
			100	837	0,18
Н-3-Л	25,9		0	939	0,07
			3	936	0,07
			10	929	0,08
			50	869	0,15
			100	867	0,15
С-2-Л	32,2		0	920	0,10
			3	916	0,10
			10	907	0,11
			50	869	0,15
			100	832	0,19
К-2-Л	35,9	Вода	–	470	0,91
Н-2-Л	31,7		–	470	0,91
Н-3-Л	25,9		–	471	0,91
С-2-Л	32,2		–	470	0,91

R45 для окружающего грунта из глины влажностью 30 % или известняка влажностью 50 %. В случае наличия за обделкой тоннеля воды предел огнестойкости конструкции по несущей способности превышает R90.

Результаты расчетов зависимостей прогрева конструкций от времени показывают, что пределы огнестойкости чугунных тубингов соответствующей приведенной толщины могут достигать предела огнестойкости 60 мин без нанесения огнезащитных покрытий при достаточной приведенной толщине металла или наличии воды (переувлажненного грунта) на необогреваемой поверхности. Ввиду скудности и противоречивости данных [4, 5] необходимо проведение экспериментальных работ по уточнению зависимости коэффициента условий работы от температуры. При оценке возможности дальнейшей эксплуатации конструкции следует учитывать, что в условиях пожара в чугунных конструкциях в процессе нагрева могут происходить изменения структуры чугуна, что, в свою очередь,

может привести к изменению прочностных характеристик, появлению трещин и разрывов.

Для перегонных тоннелей метрополитена требуемый предел огнестойкости R90 определялся при пожаре состава из восьми вагонов серии Е с пожарной нагрузкой  $50 \text{ кг/м}^2$  в тоннеле с бетонной обделкой (бетон имеет теплопроводность существенно меньше, чем чугун). Очевидно, что при уменьшении пожарной нагрузки вагонов температурное воздействие на обделку тоннелей также будет снижаться. В настоящее время в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности пожарная нагрузка подвижного состава метрополитена не должна превышать  $35 \text{ кг/м}^2$ .

Следовательно, необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований для уточнения требований по пределам огнестойкости и методики расчета фактических пределов огнестойкости несущих конструкций подземных сооружений метрополитенов, выполненных из чугунных тубингов, в том числе с учетом применения современного подвижного состава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 120.13330.2012. Метрополитены (актуализированная ред. СНиП 32-02-2003) : утв. приказом Минрегиона России от 30.06.2012 г. № 270; введ. 01.01.2013 г. — М. : Минрегион России, 2012. — 259 с.
2. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.96 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2003. — 11 с.
3. Шварц Э. Пожары и взрывы от химико-технических причин. — М. : Изд-во НКВД РСФСР, 1929. — 416 с.
4. Погудин-Алексеев Г. И. Справочник по машиностроительным материалам. — Т. 3. Чугун. — М. : Машгиз, 1959. — 359 с.
5. Справочник по чугунному литью / Под ред. Г. Гириновича. — М. : Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1978. — 758 с.
6. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ЗАО "Спецтехника", 2001. — 496 с.
7. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80) : утв. приказом ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР от 19.12.84 г. № 351/л. — М. : Стройиздат, 1985. — 56 с.
8. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1988. — 142 с.
9. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
10. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции : утв. постановлением Госстроя СССР от 14.08.81 г. № 144; введ. 01.01.82 г. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. — 96 с.
11. Зернов С. И. Расчетные оценки при решении задач пожарно-технической экспертизы : учебное пособие. — М. : ЭКЦ МВД России, 1992.
12. Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др. — М. : Машиностроение, 1990. — 688 с.
13. Эллисон В. А. Пожарная профилактика. — М. : Изд-во НКВД, 1931. — 262 с.
14. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. — 2-е изд. — М. : Мир, 1985. — 250 с.

*Материал поступил в редакцию 28 августа 2014 г.*

## FIRE RESISTANCE OF CAST IRON TUNNEL LINING WITHOUT FIREPROOF COVERING

**GOLIKOV A. D.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Deputy Head of Scientific Work of Research Institute of Perspective Researches and Innovative Technologies in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Embankment, 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail address: golikad@mail.ru)

**CHERKASOV Eu. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Research Institute of Perspective Researches and Innovative Technologies in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Embankment, 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail address: cherkasovspb@inbox.ru)

**DANILOV A. I.**, Fire-Safety Principal Engineer, OJSC Scientific, Research, Design and Surveying Institute "Lenmetrogioprotrans" (Bolshaya Moskovskaya St., 2, Saint Petersburg, 191002, Russian Federation; e-mail address: adanilav@gmail.com)

**SIVAKOV I. A.**, Postgraduate Student, Assistant of Department of Computer Thermal Physics and Physical Energy Monitoring of ITMO University (Kronverkskiy Avenue, 49, letter A, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; e-mail address: i.a.sivakov@gmail.com)

### ABSTRACT

Nowadays subway is one of the important parts of transport system in large cities. It is necessary a lot of time and money to keep up the efficiency of subways work and ensuring its fire protection. The collapse of the supporting structures of the subway tunnels due to fire complicates the fire-fighting and for long disrupts the normal functioning of subway. Lining of deep foundation subway tunnels working in hard usage are made of cast iron liners (tubing). The existing methods for calculating the limit of fire-resistance of steel structures do not take into account the features of cast iron tubing usage, such as difference properties of cast iron and iron and heat transfer from the unheated surface in the surrounding soil. The present article is brought the calculating of heating process of the cast iron tubing with account of heat release from the unheated surface in the surrounding soil. It was shown the influence of thermo-physical soil properties on the process heating of cast iron structures.

**Keywords:** fire safety; fire resistance; tunnel; cast iron.

### REFERENCES

1. Set of rules 120.13330.2012. The Subways. Moscow, FAU "FTsS", OOO "Analitik" Publ., 2012. 259 p. (in Russian).
2. Interstate standard 30247.0–94. Elements of constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2003. 11 p. (in Russian).
3. Shvarts E. *Pozhary i vzryvy ot khimiko-tekhnicheskikh prichin* [Fires and explosions from the chemical-technical reasons]. Moscow, Izdatelstvo NKVD RSFSR, 1929. 416 p.
4. Pogodin-Alekseev G. I. *Spravochnik po mashinostroitelnykh materialam*. T. 3. Chugun [Handbook of machine building materials. Vol. 3. Iron]. Moscow, Mashgiz Publ., 1959. 359 p.
5. Girshovich G. (ed.). *Spravochnik po chugunnomu lityu* [Handbook of cast iron casting]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., Leningradskoye otdeleniye, 1978. 758 p.
6. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy* [Fire resistance of building structures]. Moscow, ZAO "Spetstekhnika" Publ., 2001. 496 p.
7. Guidelines for identification of the limits of fire resistance of structures, within the fire from spreading structures and groups of flammability of materials (to SNiP II-2–80). TsNIISK im. Kucherenko. Moscow, Stroyizdat, 1985. 56 p. (in Russian).
8. Yakovlev A. I. *Raschyot ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 142 p.

9. Molchadskiy I. S. *Pozhar v pomeshchenii* [The fire in the room]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2005. 456 p.
10. *Construction norms and regulations II-23–81\**. *Steel constructions*. Moscow, TsITP of Gosstroya SSSR Publ., 1990. 96 p. (in Russian).
11. Zernov S. I. *Raschyetnyye otsenki pri reshenii zadach pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy. Uchebnoye posobiye* [Estimates at the decision of tasks of fire-technical examination. Tutorial]. Moscow, EKTs MVD Rossii Publ., 1992.
12. Arzamasov B. N., Brostrem V. A., Bushe N. A. et al. *Konstruksionnyye materialy: spravochnik* [Construction materials. Handbook]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1990. 688 p.
13. Ellison V. A. *Pozharnaya profilaktika* [Fire prevention]. Moscow, Izdatelstvo NKVD, 1931. 262 p.
14. Kukhling H. *Spravochnik po fizike* [Physics Handbook]. Moscow, Mir Publ., 1985. 250 p.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

## ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины "Основы безопасности жизнедеятельности" в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03;  
e-mail: mail@firepress.ru; www.firepress.ru