

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 378.001.76; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-104-117

ОПЕРАТИВНАЯ ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

✉ Медведева Людмила Владимировна;

Романов Николай Николаевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ luvmed@mail.ru

Аннотация. Проверка соответствия огнестойкости строительных конструкций в помещениях различного функционального назначения требованиям пожарной безопасности является одной из наиболее актуальных задач Государственной противопожарной службы. В существующих расчетных методах используются эмпирические зависимости для ориентировочной оценки огнестойкости строительной конструкции.

Приведено описание разработанной авторами методики оперативной проверки соответствия проектных решений строительных конструкций требованиям пожарной безопасности. Авторами используются численные методы решения задач нестационарной теплопроводности для определения прогрева ограждающих и несущих конструкций при огневом воздействии. Оперативность проверки соответствия огнестойкости строительных конструкций нормативным требованиям обеспечивает авторский вычислительный комплекс с автоматизированным вводом справочной информации. Вычислительный комплекс разработан в среде Microsoft Office Excel с применением Visual Basicfor Applications.

Модули вычислительного комплекса с автоматизированным вводом справочной информации позволяют не только осуществить численное моделирование огневого воздействия на каждый элемент строительных конструкций, но и оценить соответствие его фактического предела огнестойкости требованиям пожарной безопасности.

Применение вычислительного комплекса позволяет на стадии принятия проектных решений выявить и оперативно провести замену элементов, у которых выявлено несоответствие фактических пределов огнестойкости установленным нормативам (применительно к условиям внутреннего пожара в зданиях). При этом оценивается эффективность и рассчитывается необходимая толщина огнезащитных покрытий, для которых эмпирически установлены закономерности изменения теплофизических свойств в нестационарном режиме огневого воздействия.

Для программной реализации алгоритмов сложных пожарно-технических расчетов не требуется специальная подготовка.

Ключевые слова: строительная конструкция, предельные состояния, предел огнестойкости, фактический предел огнестойкости, требуемый предел огнестойкости, теплотехнический расчет

Для цитирования: Медведева Л.В., Романов Н.Н. Оперативная проверка соответствия огнестойкости строительных конструкций требованиям пожарной безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 2 (74). С. 104–117. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-104-117

Scientific article

OPERATIONAL VERIFICATION OF COMPLIANCE OF FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES WITH FIRE SAFETY REQUIREMENTS

✉ Medvedeva Ludmila V.;

Romanov Nikolay N.;

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉luvlmed@mail.ru

Abstract. Checking the compliance of fire resistance of building structures in premises of various functional purposes with fire safety requirements is one of the most urgent tasks of the State fire service. The existing calculation methods use empirical dependencies for approximate assessment of fire resistance of a building structure.

The article describes the method developed by the authors for operational verification of compliance of design solutions of building structures with fire safety requirements. The authors use numerical methods of solving the problems of non-stationary heat conduction to determine the heating of enclosing and load-bearing structures under fire impact. The author's computer complex with automated input of reference information provides the efficiency of checking the compliance of fire resistance of building structures with the normative requirements. The computational complex is developed in Microsoft Office Excel environment with the use of Visual Basic for Applications.

Modules of the computational complex with automated input of reference information allow not only to carry out numerical modeling of fire impact on each element of building structures, but also to assess the compliance of its actual fire resistance limit with fire safety requirements.

The application of the computational complex allows at the stage of making design decisions to identify and promptly carry out the replacement of elements, which have revealed non-compliance of the actual fire resistance limits to the established standards (in relation to the conditions of internal fire in buildings). In this case, the efficiency is evaluated and the necessary thickness of fireproof coatings is calculated, for which empirically established regularities of changes in thermophysical properties in the non-stationary mode of fire exposure.

No special training is required for program implementation of algorithms of complex fire engineering calculations.

Keywords: building structure, limit states, fire resistance limit, actual fire resistance limit, required fire resistance limit, thermal calculation

For citation: Medvedeva L.V., Romanov N.N. Operational verification of compliance of fire resistance of building structures with fire safety requirements // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 2 (74). P. 104–117. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-104-117.

Введение

Одной из актуальных задач Государственной противопожарной службы является проверка соответствия огнестойкости строительных конструкций в помещениях различного функционального назначения требованиям пожарной безопасности: фактические пределы огнестойкости всех элементов строительной конструкции должны быть выше, чем нормативные пределы огнестойкости, которые установлены по предельным состояниям¹.

Экспериментальная проверка фактических пределов огнестойкости строительных конструкций требует проведения натурных огневых испытаний. Однако, по мнению

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант»

специалистов, в большинстве случаев организация данных испытаний является дорогостоящей, трудоемкой, а порой и нереализуемой практической задачей.

Альтернативой огневым практическим испытаниям является оценка огнестойкости строительных конструкций расчетно-аналитическим методом [1–4], который более экономичный и менее трудоемкий. При этом появляется возможность проведения проверки огнестойкости для различных конструктивных вариантов решений с целью ее повышения.

Однако до настоящего времени не разработаны и официально не утверждены методики расчета огнестойкости строительных конструкций, так как в существующих расчетных методах используются эмпирические зависимости, которые имеют известные допущения и отклонения. Следовательно, результаты расчетов могут быть использованы только для ориентировочной оценки.

В данной работе предлагается вычислительный комплекс, включающий совокупность модулей, которые позволяют осуществить численное моделирование огневого воздействия на каждый элемент строительной конструкции и оценить соответствие его фактического предела огнестойкости требованиям пожарной безопасности.

В качестве объекта исследования выбираются строительные конструкции зданий различного функционального назначения (колонны, балки, перекрытия, наружные и внутренние стены). При расчетах огнестойкости конструкций параметры пожарной нагрузки (низкая теплота сгорания, удельная скорость выгорания) для расчета температурного воздействия на несущие и ограждающие конструкции соответствуют справочным данным².

Объекты и методы исследования

Для оценки соответствия огнестойкости строительных конструкций требованиям пожарной безопасности использовался расчетно-аналитический метод, представляющий собой следующую последовательность действий:

- выбор конкретных элементов строительных конструкций, подлежащих рассмотрению. При оценке огнестойкости металлических элементов (колонны, балки) осуществляется выбор профиля с автоматическим определением необходимых характеристик согласно соответствующему ГОСТу. Для оценки огнестойкости ограждающих элементов конструкции (наружные, внутренние стены, перекрытия) задаются геометрические параметры, материал и толщина защитного слоя, значение критической температуры арматуры;
- определение требуемых пределов огнестойкости (τ_t) рассматриваемых элементов строительных конструкций;
- расчет динамики изменения среднеобъемной температуры продуктов горения в условиях внутреннего пожара³ с автоматическим использованием баз данных показателей пожарной нагрузки для функционально однотипных помещений и различных горючих материалов⁴;
- расчет прогрева каждого из выбранных элементов строительных конструкций и определение для них фактического предела огнестойкости (τ_ϕ);
- сравнение τ_ϕ рассматриваемых элементов строительных конструкций с τ_t ;
- вывод о соответствии огнестойкости рассматриваемых элементов требованиям пожарной безопасности.

² СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка: справ. (ред. 1 от 14 мая 2014 г.). СПб.: ООО «СИТИС», 2014

³ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из информ.-правового портала «Гарант»

⁴ СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка: справ. (ред. 1 от 14 мая 2014 г.). СПб.: ООО «СИТИС», 2014

Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций определяются по нормативным документам [1, 5, 6]⁵.

Определение фактического предела огнестойкости каждого из выбранных элементов строительной конструкции осуществляется либо по алгоритму для металлической конструкции, либо по алгоритму для железобетонной конструкции.

Расчет фактических пределов огнестойкости металлических строительных конструкций в условиях пожара основана определении критической для данной конструкции температуры t_{kp} , при которой конструкция теряет способность сопротивляться нагрузке^{6, 7}, и расчете времени прогрева конструкции до заданной критической температуры [7–9].

Расчет среднеобъемной температуры продуктов горения в помещении проводится по методике⁸ с использованием баз данных показателей пожарной нагрузки для функционально однотипных помещений и различных горючих материалов⁹.

Теоретической основой теплотехнического расчета является уравнение нестационарной теплопроводности твердого тела:

$$c(t) \cdot \rho \cdot \delta_{np} \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{t_f(\tau) - t(\tau)}{R(\tau)}, \quad (1)$$

где $c(t)$ – удельная теплоемкость материала металлической конструкции, Дж/(кг·°С); ρ – плотность материала конструкции, кг/м³; δ_{np} – приведенная толщина металлической конструкции, м; $t_f(\tau)$ – среднеинтегральная температура греющей среды, °С; $t(\tau)$ – температура металлической конструкции в момент времени τ , °С; $R(\tau)$ – термическое сопротивление между греющей средой и непосредственно металлической конструкцией, (м²·°С)/Вт.

Термическое сопротивление $R(\tau)$ определяется по формулам:

– в случае незащищенной металлической конструкции:

$$R(\tau) = \frac{1}{\alpha(\tau)};$$

– в случае конструкции с конструктивной огнезащитой:

$$R(\tau) = \frac{1}{\alpha(\tau)} + \frac{\delta_z}{\lambda_z},$$

где $\alpha(\tau)$ – коэффициент теплообмена между конструкцией и продуктами горения, Вт/(м²·°С); δ_z – толщина огнезащитного покрытия, м; λ_z – коэффициент теплопроводности огнезащитного покрытия, Вт/(м·°С).

⁵ Справочник по огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций, пожарной опасности строительных материалов и огнестойкости инженерного оборудования зданий (в помощь инспектору государственной противопожарной службы). М.: ВНИИПО, 1999

⁶ СП 16.13330.2011 (СНиП II-23-81*). Стальные конструкции. Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2002. 96 с.

⁷ СП 20.13330.2016 (СНиП 2.01.07-85*). Нагрузки и воздействия. Госстрой России. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

⁸ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из информ.-правового портала «Гарант»

⁹ СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка: справ. (ред. 1 от 14 мая 2014 г.). СПб.: ООО «СИТИС», 2014

Приведенная толщина металлической конструкции (δ_{np}) рассчитывается по формуле:

$$\delta_{np} = \frac{A}{U},$$

где A – площадь поперечного сечения конструкции, м²; U – обогреваемый периметр сечения металлической конструкции, м.

При проведении теплотехнического расчета используют не дифференциальное уравнение (1), а его конечно-разностный аналог.

С учетом меняющихся теплофизических свойств материала температура металлической конструкции для каждого момента времени определяется методом последовательных приближений по формуле:

$$t(\tau_i) = \frac{\frac{t_f(\tau_i)}{R(\tau_i)} + \frac{c(\bar{t}) \cdot \gamma \cdot \delta_{np}}{\Delta\tau} \cdot t(\tau_{i-1})}{\frac{1}{R(\tau_i)} + \frac{c(\bar{t}) \cdot \gamma \cdot \delta_{np}}{\Delta\tau}}.$$

Коэффициент теплообмена $\alpha(\tau_i)$ между поверхностью конструкции и продуктами горения рассчитывается¹⁰ по формуле:

$$\alpha(\tau_i) = 29 + \frac{C_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_f(\tau_i)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w(\tau_i)}{100} \right)^4 \right]}{\overline{T_f}(\tau_i) - \overline{T_w}(\tau_i)},$$

где

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1},$$

$$\overline{T_w}(\tau_i) = 273 + \bar{t}(\tau_i); \quad \overline{T_f}(\tau_i) = 273 + \bar{t}_f(\tau_i),$$

$$\bar{t}(\tau_i) = \frac{t(\tau_i) + t(\tau_{i-1})}{2}; \quad \bar{t}_f(\tau_i) = \frac{t_f(\tau_i) + t_f(\tau_{i-1})}{2},$$

где $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; ε_1 – степень черноты пламени; $\varepsilon_w, \varepsilon_1$ – степень черноты поверхности конструкции и продуктов горения; $c(t)$ – удельная теплоемкость (Дж/кг·°C); ρ – плотность материала конструкции (кг/м³).

Температуру окружающей среды до возникновения пожара (t_0) считают равной начальной температуре по сечению конструкции.

Предел огнестойкости металлической конструкции равен времени прогрева сечения конструкции (или отдельных его частей) до критической температуры.

Если строительная конструкция представляет собой железобетонную плоскую стенку толщиной δ , то оценка влияния температурного воздействия на огнестойкость осуществляется решением дифференциального уравнения теплопроводности (2) совместно с начальными и граничными условиями [7, 10]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial \tau} &= a(t) \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}; \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} |_{x=0} &= -\frac{\alpha_1(\tau)}{\lambda} \cdot [t_f(\tau) - t], \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} |_{x=\delta} = \frac{\alpha_2}{\lambda} \cdot (t - t_0), \quad t(x, 0) = t_0, \end{aligned} \quad (2)$$

¹⁰ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из информ.-правового портала «Гарант»

где $a(t) = \frac{\lambda(t)}{c(t) \cdot \rho}$ – коэффициент температуропроводности материала стенки, зависящий от температуры; $\lambda(t), c(t), \rho$ – соответственно: теплопроводность, теплоемкость и плотность материала; $\alpha_1(\tau)$ – коэффициент теплоотдачи со стороны продуктов горения; α_2 – коэффициент теплоотдачи со стороны необогреваемой поверхности; $t_f(\tau)$ – температура продуктов горения; t_0 – температура со стороны необогреваемой поверхности.

Применяя метод конечных разностей при решении данной одномерной задачи по явной схеме, получаем для временного слоя:

$$\Delta\tau < \frac{0,5}{\frac{a(t)}{\Delta x^2} + \frac{\alpha_{max}}{c(t) \cdot \rho \cdot \Delta x}},$$

где α_{max} – максимальное значение теплообмена со стороны продуктов горения.

Формулы для расчета динамики изменения температур:

– на обогреваемой поверхности ($x=0$):

$$t(1, i) = \frac{\alpha_1(i) \cdot t_f(\tau_i) + \frac{\lambda(t) \cdot t(2, i-1)}{\Delta x}}{\alpha_1(i) + \frac{\lambda(t)}{\Delta x}};$$

– во внутренних слоях:

$$t(x, i) = t(x, i-1) + \frac{\Delta\tau \cdot a(t)}{\Delta x^2} \cdot [t(x-1, i-1) + t(x+1, i-1) - 2 \cdot t(x, i-1)];$$

– на необогреваемой поверхности ($x=\delta$):

$$t(\delta, i) = \frac{\frac{c(t) \cdot \rho \cdot \Delta x}{\Delta\tau} \cdot t(\delta-1, i-1) - \alpha_2 \cdot [t(\delta, i-1) - t_0] + \frac{\lambda(t) \cdot t(\delta, i-1)}{\Delta x}}{\frac{c(t) \cdot \rho \cdot \Delta x}{\Delta\tau} + \frac{\lambda(t)}{\Delta x}}.$$

В полученных формулах индекс i характеризует температуру в расчетный момент времени $\tau = i \cdot \Delta\tau$ в точке с координатой x .

Коэффициент теплообмена $\alpha_1(i)$ между поверхностью конструкции и продуктами горения рассчитывается по формуле:

$$\alpha_1(i) = 29 + \frac{C_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_f(i)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T(1, i)}{100} \right)^4 \right]}{T_f(i) - T(1, i)};$$

$$\text{где } T(1, i) = 273 + t(1, i), \quad T_f(i) = 273 + t_f(i); \quad \varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}.$$

Усредненное значение коэффициента теплообмена α_2 со стороны необогреваемой поверхности принимается:

– в случае свободной конвекции [11]:

$$\alpha_2 = 4,83 + 8,875 \cdot \varepsilon_2;$$

– в случае теплоизоляции:

$$\alpha_2 = 0.$$

В этих формулах $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – степени черноты продуктов горения и поверхности твердого тела соответственно.

Предел огнестойкости ограждающих железобетонных конструкций наступает в результате достижения одного из предельных состояний: потеря несущей способности (прогрев арматуры до критической температуры); потеря теплоизолирующей способности (температура на необогреваемой поверхности превышает начальную температуру на 160 °C).

Результаты исследования

Практическую реализацию разработанного вычислительного комплекса на основе расчетно-аналитического метода можно рассмотреть на примере автоматизированной оценки соответствия огнестойкости строительных конструкций в конкретно выбранном помещении – цех деревообработки (Ф5.1 – производственные здания, сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские) с определенными объемно-планировочными характеристиками (ДхШхВ, количество и размеры оконных и дверных проемов), с известной общей массой пожарной нагрузки и т.д. (рис. 1).

<i>Степень огнестойкости здания</i>			
III			
<i>Зона расположения пожарной нагрузки</i>			
<i>Цех деревообработки (Ф5.1 – производственные здания, сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские)</i>			
<i>Общая масса пожарной нагрузки, M</i>	3000	<i>кг</i>	
<i>Начальная температура, T_o</i>	20	<i>°C</i>	
<i>Степень черноты пламени</i>	0,8		

<i>Объемно-планировочные параметры помещения</i>					
<i>Геометрические параметры помещения</i>					
<i>Длина</i>	20	<i>м</i>	<i>Ширина</i>	4	<i>м</i>
				<i>Высота</i>	3
<i>Геометрические параметры проемов</i>					
<i>Вид</i>		<i>Ширина, м</i>	<i>15,7</i>	<i>Кол-во</i>	
<i>Оконные</i>	<i>№1</i>	2,2	2	1	
	<i>№2</i>				
<i>Дверные</i>	<i>№1</i>	2	2	1	
	<i>№2</i>				

Рис. 1. Ввод характеристики зоны пожарной нагрузки

В данном программном продукте предусмотрен произвольный выбор элементов строительных конструкций (колонны, балки, перекрытия, стены и т.д.), которые подлежат проверке на огнестойкость (рис. 2).

Значения требуемых (нормативных) пределов огнестойкости элементов, которые зависят от степени огнестойкости здания, вводятся автоматически после их выбора оператором. В примере элементами для оценки огнестойкости являются: колонны, балки, перекрытие и внутренняя стена.

Колонна ✓		Перекрытия ✓		Балки ✓		Внутренние стены ✓	
Профиль	Требуемый предел огнестойкости	Профиль	Требуемый предел огнестойкости	Профиль	Требуемый предел огнестойкости	Профиль	Требуемый предел огнестойкости
Двутавр	R 45	Железобетонная плита	REI 45	Швеллер 8	R 15	Стенка	REI 60

Примечание: - отказ; ✓ - выбор.

Рис. 2. Выбор элементов строительной конструкции для проведения на соответствие огнестойкости требованиям пожарной безопасности

В случае рассмотрения металлических строительных конструкций (колонны, балки) предусмотрен выбор профиля (согласно соответствующему ГОСТу) с автоматическим вводом характеристик данного элемента, необходимых для расчетов [9, 10]^{11, 12, 13}, схемы опирания, материала конструкции, задание величины нормативной нагрузки и условия ее применения (рис. 3).

Профиль	Схема опирания	№ элемента	Марка стали	Условия применения нагрузки	Выбор
		60	Ст.45	Изгибающие элементы	<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
		8	Ст.У8		<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
		50/50/4	Ст.20		<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
		100/50/7	Ст.45		<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 3. Выбор металлической конструкции

¹¹ ГОСТ 8239–89. Межгосударственный стандарт. Двутавры стальные горячекатаные. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

¹² ГОСТ 8240–97. Межгосударственный стандарт. Швеллеры стальные горячекатаные. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

¹³ ГОСТ 30245–2003. Межгосударственный стандарт. Профили стальные гнутые. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

В случае выбора типов строительных конструкций из железобетона в программном продукте задают (рис. 4) материал конструкции и его толщину, значения критической температуры нагрева арматуры и толщину защитного слоя до арматуры, а также выбираются условия теплообмена на необогреваемой поверхности конструкции (свободная конвекция/теплоизоляция).

Железобетонная плита					
Материал	Бетон на гранитном заполнителе		Толщина	210	мм
	Расстояние до арматуры		15	мм	
	Условие теплообмена на внешней поверхности		свободный теплообмен		
	Критическая температура /несущая способность /		600	°C	
	Максимальная температура на необогреваемой поверхности/теплоизолирующая способность /		180	°C	

Рис. 4. Ввод параметров перекрытия

После ввода исходных параметров программа осуществляет расчеты, результаты которых в качестве примера представлены на рис. 5.

1. Расчет изменения среднеобъемной температуры внутреннего пожара во времени

Цех деревообработки (Ф5.1 – производственные здания, сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские)

Общий объем помещения, V [м ³]	240
Площадь помещения, S [м ²]	80
Суммарная площадь проемов, A [м ²]	8,4
Проемность помещения, Π [м]	0,31
Время достижения максимального значения среднеобъемной темп-ры, τ_{max} [мин.]	31,1
Максимальное значение среднеобъемной темп-ры t_{max} [°C], с точностью до ± 5%	974
Режим пожара	ПРВ

Время, τ [мин.]	0	6	12	18	24	30	36	42	48
Среднеобъемная температура, °C	20	38	213	551	854	985	938	##	598

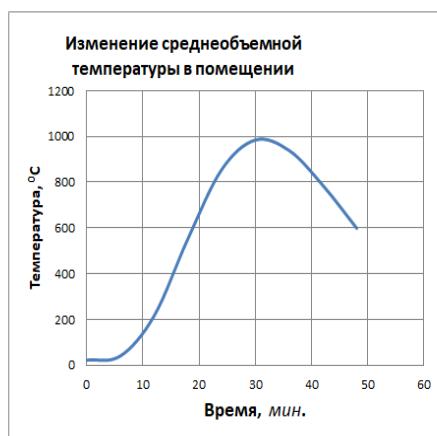


Рис. 5. Динамика изменения среднеобъемной температуры продуктов горения

Расчет динамики изменения среднеобъемной температуры продуктов горения в условиях внутреннего пожара проводится на основе интегральной математической модели пожара (то есть рассматриваются изменения среднеобъемных параметров состояния продуктов горения в помещении в процессе развития пожара) [1]. Результаты данного расчета (рис. 5) являются исходной информацией для расчета прогрева ограждающих и несущих конструкций.

2. Расчет фактического предела огнестойкости колонны

Приведенная толщина, мм									5,6
Текущее время, мин	0	8	15	23	30	38	45	53	60
Темп-ра прогрева колонны, °C	20	28	141	499	893	933	778	601	447
Критическая температура, °C	500								

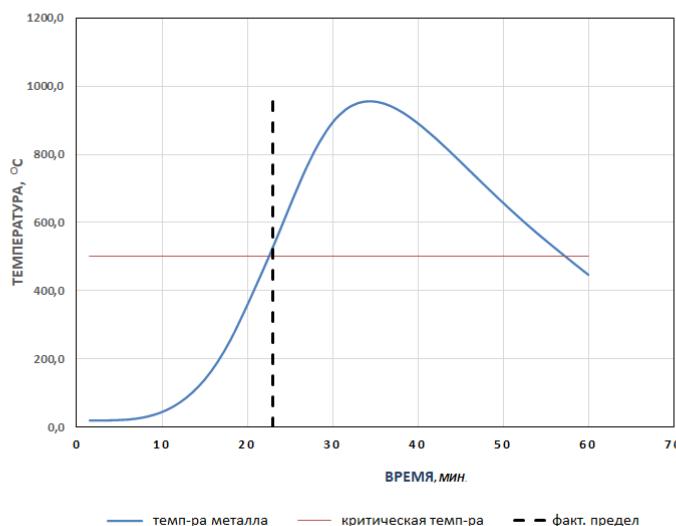


Рис. 6. Результаты расчета прогрева колонны (дутавр 15К3)

3. Расчет фактического предела огнестойкости балки

Приведенная толщина, мм									3,9
Текущее время, мин	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Темп-ра прогрева балки, °C	20	22	51	168	423	740	947	966	883
Критическая температура, °C	460								

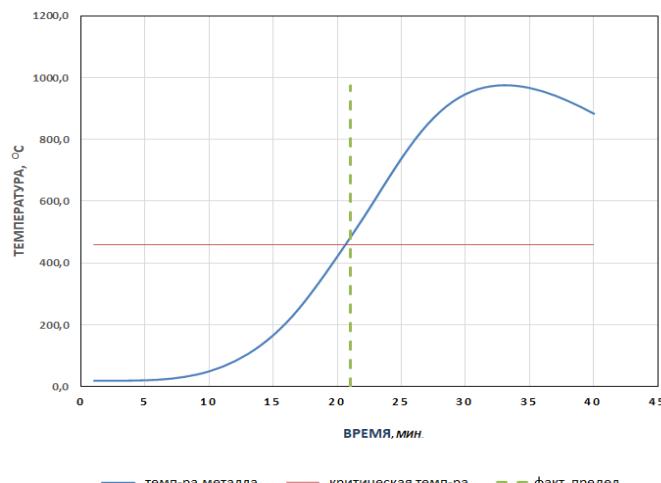


Рис. 7. Результаты расчета прогрева балки (швеллер 8)

В программе на этапах определения фактических пределов огнестойкости $\tau_{\phi max}$ или иных несущих металлических конструкций, исходя из параметров, соответствующих выбранному профилю колонны или балки, сначала осуществляется определение критической температуры (если она не задана), а затем рассчитывается изменение средней температуры конструкции во времени.

Время достижения температуры прогрева металла до значения соответствующей данному типу конструкции критической температуры t_{kp} и будет являться τ_ϕ (рис. 6, 7).

4. Расчет фактического предела огнестойкости перекрытия

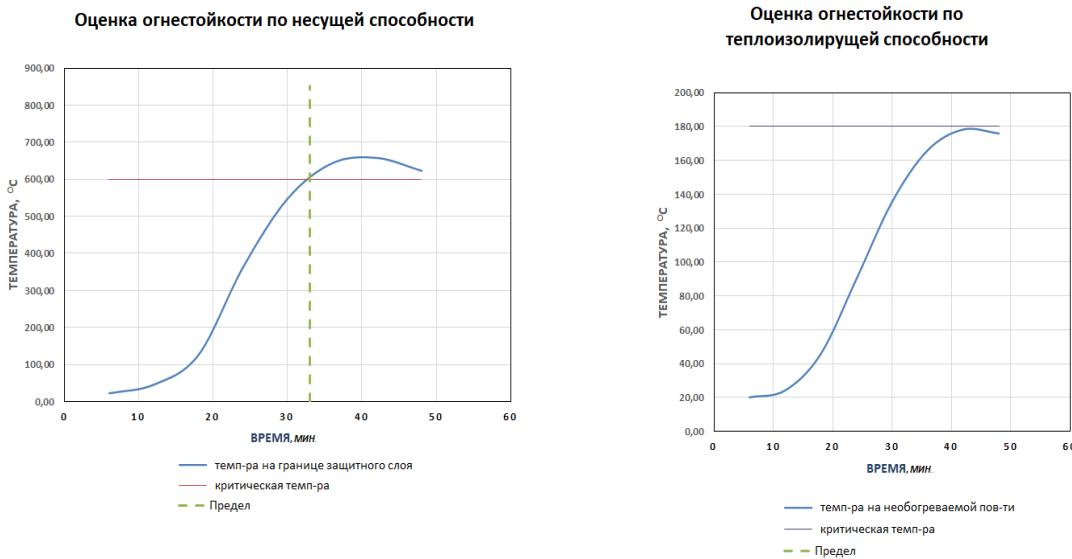


Рис. 8. Результаты расчета прогрева железобетонной конструкции (перекрытие)

5. Расчет фактического предела огнестойкости внутренней стены

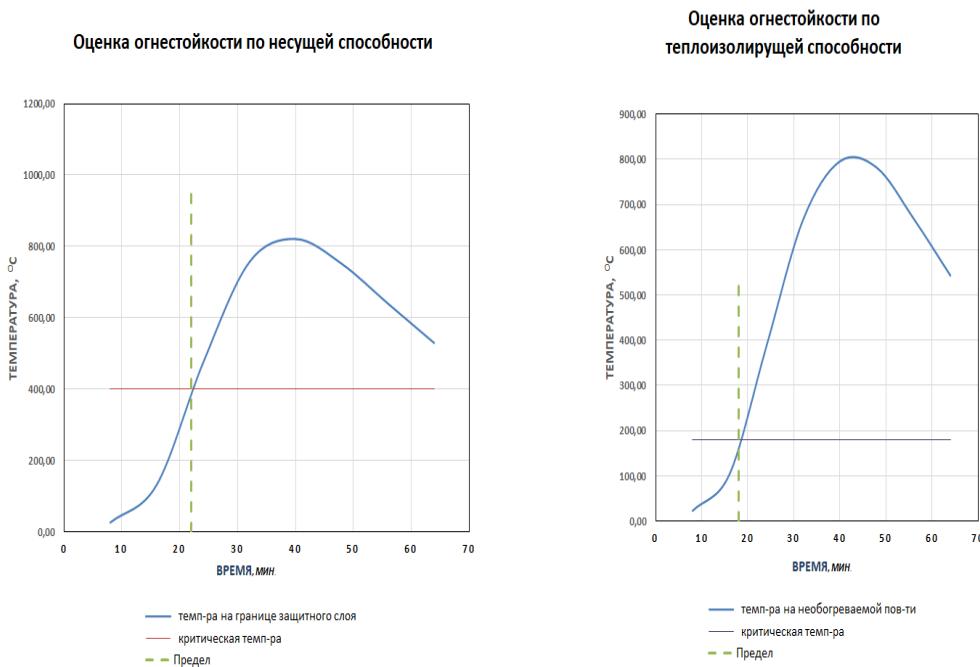


Рис. 9. Результаты расчета прогрева железобетонной конструкции (внутренняя стенка)

На рис. 8, 9 приведены результаты оценки температурного воздействия продуктов горения на изменение температуры по толщине ограждений (перекрытия или внутренней стенки).

Полученные результаты позволяют определить предел огнестойкости для каждого из типов ограждений, соответственно, который наступает в результате наступлению первого из предельных состояний: либо потери несущей способности (прогрев арматуры до критической температуры), либо потери теплоизолирующей способности (температура на необогреваемой поверхности превышает начальную температуру на 160 °C).

По результатам расчетов, в зависимости от того, как соотносятся между собой фактический и требуемый пределы огнестойкости, в программе делается заключение о соответствии строительных конструкций требованиям норм по огнестойкости рис. 10.

Элемент строительной конструкции	Профиль	Предел огнестойкости		Вывод (соотв./не соотв.)
		требуемый	фактический	
Колонна	Двутавр	45	23	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ
Перекрытие	Железобетонная плита	45	33	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ
Балка	Швеллер 8	15	21	соответствует требованиям норм по огнестойкости
Внутр.стенка	Стенка	60	18	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ

Рис. 10. Результаты расчетно-аналитической экспертизы

По результатам расчетов делают выводы о необходимости применения огнезащиты для соответствующих строительных конструкций – колонны, перекрытия и внутренней стенки.

Заключение

Практическая значимость разработанного вычислительного комплекса с автоматизированным вводом справочной информации заключается в возможности:

- оперативной проверки соответствия огнестойкости строительных конструкций различного функционального назначения требованиям пожарной безопасности (применительно к условиям внутреннего пожара в зданиях);
- программной реализации алгоритмов сложных пожарно-технических расчетов без специальной подготовки;
- выявления и замены на стадии принятия проектных решений системных элементов строительных конструкций, у которых фактические пределы огнестойкости не соответствуют установленным нормативам;
- оценить эффективность и рассчитать необходимую толщину огнезащитных покрытий, для которых эмпирически установлены закономерности изменения теплофизических свойств в нестационарном режиме огневого воздействия.

Следует подчеркнуть, что в настоящее время исследование закономерностей изменения теплофизических свойств различных огнезащитных материалов в нестационарных условиях

и определение оптимальной толщины огнезащитного слоя являются взаимосвязанными и чрезвычайно актуальными научными проблемами, от решения которых в значительной степени зависит пожарная безопасность строительных конструкций различного функционального назначения.

Список источников

1. Пожарно-технические характеристики строительных материалов в европейских и российских нормативных документах. Проблемы гармонизации методов исследования и классификации / М.В. Гравит [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 10. С. 16–29.
2. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke // Journal of Fire Protection Engineering. 2003. Vol. 13. Iss. 2. P. 87–110. DOI: 10.1177/1042391503013002001
3. Morente F., de la Quintana J., Wold F. PART 4: Software for fire design.
4. Korhonen T. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac. Technical Reference and User's Guide (FDS 6.6.0, Evac 2.5.2, DRAFT). VTT Technical Research Centre of Finland, 2018. 115 p.
5. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: Спецтехника, 2001.
6. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. 382 с.
7. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МВД России, 2000. 118 с.
8. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
9. Методика расчета режимов прогрева строительных конструкций в условиях внутреннего пожара / А.А. Кузьмин [и др.] // Вестник Max. 2021. № 1. С. 84–93.
10. Расчет температурных полей несущих металлических конструкций в условиях высокотемпературного воздействия для оценки огнестойкости / М.А. Симонова [и др.] // Вестник Max. 2021. № 2. С. 88–97.
11. Зайцев А.М. Расчет предела огнестойкости ограждающих конструкций при различных условиях теплообмена на противоположных поверхностях // Современные проблемы гражданской защиты. 2017. № 2 (23). С. 46–58.

References

1. Pozharno-tehnicheskie harakteristiki stroitel'nyh materialov v evropejskih i rossijskih normativnyh dokumentah. Problemy garmonizacii metodov issledovaniya i klassifikacii / M.V. Gravit [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. Т. 25. № 10. S. 16–29.
2. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke // Journal of Fire Protection Engineering. 2003. Vol. 13. Iss. 2. P. 87–110. DOI: 10.1177/1042391503013002001
3. Morente F., de la Quintana J., Wold F. PART 4: Software for fire design.
4. Korhonen T. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac. Technical Reference and User's Guide (FDS 6.6.0, Evac 2.5.2, DRAFT). VTT Technical Research Centre of Finland, 2018. 115 p.
5. Mosalkov I.L., Plyusnina G.F., Frolov A.Yu. Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij. M.: Spectekhnika, 2001.
6. Rojtman V.M. Inzhenernye resheniya po ocenke ognestojkosti proektiruemyh i rekonstruiruemyh zdaniy. M.: Asociaciya «Pozharnaya bezopasnost' i nauka», 2001. 382 s.
7. Koshmarov Yu.A. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshchenii: ucheb. posobie. M.: Akad. GPS MVD Rossii, 2000. 118 s.

8. Puzach S.V. Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ih primenie pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti: monografiya. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2005. 336 s.
9. Metodika rascheta rezhimov progreva stroitel'nyh konstrukcij v usloviyah vnutrennego pozhara / A.A. Kuz'min [i dr.] // Vestnik Max. 2021. № 1. S. 84–93.
10. Raschet temperaturnyh polej nesushchih metallicheskikh konstrukcij v usloviyah vysokotemperaturnogo vozdejstviya dlya ocenki ognestojkosti / M.A. Simonova [i dr.] // Vestnik Max. 2021. № 2. S. 88–97.
11. Zajcev A.M. Raschet predela ognestojkosti ogranichivayushchih konstrukcij pri razlichnyh usloviyah teploobmena na protivopolozhnyh poverhnostyah // Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity. 2017. № 2 (23). S. 46–58.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.03.2025; одобрена после рецензирования: 02.04.2025; принята к публикации: 21.05.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.03.2025; approved after review: 02.04.2025; accepted for publication: 21.05.2025

Информация об авторах:

Медведева Людмила Владимировна, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, e-mail: luvlmed@mail.ru, SPIN-код: 9487-3042

Романов Николай Николаевич, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: nik57nik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8254-9424>, SPIN-код: 4828-4313

Information about the authors:

Medvedeva Lyudmila V., professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of pedagogical sciences, professor, honored worker of higher education, e-mail: luvlmed@mail.ru, SPIN: 9487-3042

Romanov Nikolay N., associate professor at the department of physical and technical fundamentals of fire safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of sciences in technology, docent, e-mail: nik57nik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8254-9424>, SPIN: 4828-4313