

УДК 624.042.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СТАНДАРТНОМ ПОЖАРЕ

А.М. Зайцев, В.А. Болгов, Д.С. Черных

Воронежский Государственный архитектурно-строительный университет

Проанализированы граничные условия теплообмена строительных конструкций при реальных пожарах. Имеющиеся в литературе данные по коэффициенту теплоотдачи немногочисленны и крайне противоречивы. Представлены, полученные авторами результаты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СТАНДАРТНЫЙ ПОЖАР, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ, ПРОГРЕВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

Ущерб от разрушения и повреждения строительных конструкций при пожарах в зданиях и сооружениях составляют примерно 20-30 % от общей суммы материальных потерь от пожаров, что приводит к выходу из строя технологического оборудования, уничтожению других материальных ценностей, загрязнению окружающей среды, человеческим жертвам.

Под воздействием высокой температуры пожара, строительные конструкции утрачивают свои несущие и ограждающие функции. Поэтому исследование прогрева строительных конструкций при реальных пожарах является актуальной проблемой. Экспериментальные исследования этой задачи требуют больших материальных затрат и времени. Расчетный метод определения фактических пределов огнестойкости строительных конструкций состоит из решения статической и теплофизической задач. При этом вследствие вероятностного характера изменения температуры реальных пожаров, наиболее сложной является решение теплофизической задачи.

Для исследования прогрева строительных конструкций при пожарах необходимо производить решение задачи нестационарной теплопроводности в твёрдых телах. При этом кроме основного уравнения теплопроводности (уравнение Фурье), для получения единственного решения необходимо задавать начальные и граничные условия.

Уравнение нестационарной теплопроводности для однородной неограниченной плиты можно записать в виде:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (1)$$

Начальное условие состоит в задании функции распределения значений температуры по толщине плиты в начальный момент времени. Как правило, температура по сечению принимается равномерной и выражается формулой:

$$t(x,0) = t_0 \quad (2)$$

Граничные условия подразделяются на 4 рода.

1. Граничные условия первого рода имеют место, когда известна или может быть вычислена температура на поверхности исследуемой конструкции. В большинстве случаев температура поверхности строительных конструкций изменяется со временем, что можно представить в виде уравнения

$$t_{нов,\tau} = f(\tau), \text{ или } t(x,\tau)|_{x=\delta} = f(\tau) \quad (3)$$

где $t_{нов,\tau}$ – температура поверхности конструкции; $f(\tau)$ – произвольная функция времени.

Например, в [1,4] для решения задач прогрева железобетонных конструкций при стандартном пожаре, к фактической толщине стенки прибавляется фиктивный слой, на поверхности которого принимается некоторая фиксированная температура поверхности. Применительно к температурному ре-

жиму стандартного пожара температура на поверхности фиктивного слоя принимается равной 1250°С [1], а в [4] 1220°С. В [3] для исследования прогрева железобетонных, стальных теплоизолированных конструкций получены аналитические решения задач прогрева применительно к температурному режиму стандартного пожара. На основе полученных решений разработаны инженерные методики расчета, которые можно использовать в инженерной практике.

2. Если задается интенсивность теплового потока от нагревающей среды в конструкцию, то в этом случае говорят о граничных условиях II рода. Граничное условие второго рода состоит в задании на поверхности теплообмена твёрдого тела плотности теплового потока, в общем случае, как функции времени, т.е. должно выполняться соотношение

$$\lambda \frac{\partial t_{(нов,\tau)}}{\partial X} = q_{(\tau)} \quad (4)$$

В [7,8] приводятся методики расчета функций теплового потока для стен и потолков, для различных вариантов развития пожаров: регулируемых нагрузкой или вентиляцией. Однако рекомендуемые методики сложны для практического применения, и пока не находят применения в практике инженерных расчетов.

3. Если задается температура среды (газа), нагревающей конструкцию, и закон теплообмена между средой и поверхностью конструкции то говорят о граничных условиях III рода, используются, например, в [3]. Граничные условия третьего рода состоят в задании на поверхности теплообмена твёрдого тела (конструкции), с газообразной средой пожара значений температуры нагревающей среды и коэффициента теплоотдачи, т.е. должно выполняться условие:

$$\lambda \frac{\partial t_{(нов,\tau)}}{\partial X} = \alpha(t_{среды} - t_{нов}), \quad (5)$$

где: $t_{среды}$ – температура окружающей среды.

В общем случае, полный тепловой поток к единице поверхности конструкции q , включает в себя конвективный q_c и лучистый (радиационный) q_r тепловые потоки:

$$q = q_c + q_r, \quad (6)$$

где: q_c определяется по формуле

$$q_c = \alpha_c(t_p - t_n) \quad (7)$$

t_p – температура реального пожара; t_n – температура поверхности конструкции; α_c – коэффициент теплоотдачи от газовой среды к конструкции, который для стандартного пожара принимается равным 29, Вт/(м К). q_r определяется по формуле

$$q_r = 5,67 \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{t_p + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_n + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (8)$$

где: ε_{np} – приведенная степень черноты системы «среда-поверхность конструкции», определяется по формуле:

$$\varepsilon_{np} = 1/(1/\varepsilon_{cp} + 1/\varepsilon_n - 1) \quad (9)$$

Для обогреваемой среды принимается $\varepsilon_{cp} = 0,85$, для воздушной среды у не обогреваемых поверхностей принимается $\varepsilon_n = 1,0$.

Такой подход в настоящее время находит наиболее широкое применение при расчете прогрева различных конструкций конечно-разностными методами [2, 5, 7, 8].

4. Граничные условия четвёртого рода. Этот случай имеет место при прогреве слоистых систем на границе соприкосновения отдельных слоёв, т.е. когда имеет место равенство температур и тепловых потоков, т.е. выполняются условия:

$$t_1(X_1, \tau) = t_2(X_2, \tau) \Big|_{x=\delta_1}, \tag{10}$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(X, \tau)}{\partial X} \Big|_{x_1=\delta_1} = \lambda_2 \frac{\partial t_2(X, \tau)}{\partial X} \Big|_{x_1=X_2=\delta_1}, \tag{11}$$

где δ_1 – толщина первой пластины (безразмерная).

Граничные условия четвертого рода применяются при исследовании прогрева систем с различными теплофизическими характеристиками. Например, при исследовании прогрева теплоизолированных стальных конструкций, на поверхности соприкосновения металлического и теплоизоляционных слоев задается следующее условие:

$$c_M \rho_M \delta_M \frac{\partial t}{\partial \tau} \Big|_{x=0} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} \tag{12}$$

В настоящее время развитие расчетных методов определения пределов огнестойкости строительных конструкций сдерживается, в частности, из-за недостаточной изученности процессов теплообмена строительных конструкций при пожарах. Имеющиеся в научной и технической литературе данные по коэффициенту теплоотдачи немногочисленны и крайне противоречивы. Так в [6] средние значения коэффициента теплоотдачи со стороны нагревающей среды предлагается определять по формулам. На не обогреваемой поверхности среднее значение коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_{н.п.}^{cp.} = 4,83 + 8,875 \varepsilon_{н.п.} \tag{13}$$

где $\varepsilon_{н.п.}$ – степень черноты не обогреваемой поверхности.

Примерно такие же результаты были получены в работе [9] на гидроинтеграторе, но они долгое время оказались не востребованными, может быть, потому что не были представлены в виде математической формулы.

В [8] на основе многолетних экспериментальных и теоретических исследований, получены значения коэффициента теплоотдачи для температурного режима стандартного пожара, которые представлены в табличной форме.

В таблице 1 представлены значения коэффициента теплоотдачи, полученные различными авторами [6, 8, 9]. Также представлены результаты исследований по определению коэффициента теплоотдачи при прогреве железобетонных конструкций при температурном режиме стандартного пожара, полученные в данной работе.

Таблица 1
Изменение коэффициента теплоотдачи при стандартном пожаре

Коэффициент теплоотдачи Вт·м ⁻² ·К ⁻¹ (Источник)	Время, мин									
	15	30	60	90	120	150	180	240	300	360
[6]	60.6	76.8	97.6	112.3	124.0	133.8	142.7	157.5	168.8	180.8
[8]	114.8	153.3	209.3	265.4	274.4	296.7	324.3	356.5	–	419.9
[9]	93.0	104.0	122.5	127.0	–	–	–	–	–	–
Авторы	115,2	167,7	215,5	251,1	278,4	300,8	319,9	351,6	377,5	399,6
При $t_{ср.ср.} = t_{ср.} + 20^{\circ}\text{C}$	121,7	170,4	226,2	263,0	291,2	312,6	334,0	366,6	393,3	416,0

На рисунке 1 представлен график изменения со временем коэффициента теплоотдачи для температурного режима стандартного пожара, полученный на основе решения конечно-разностным методом [2, 5] задачи прогрева железобетонной плиты для температурного режима стандартного пожара.

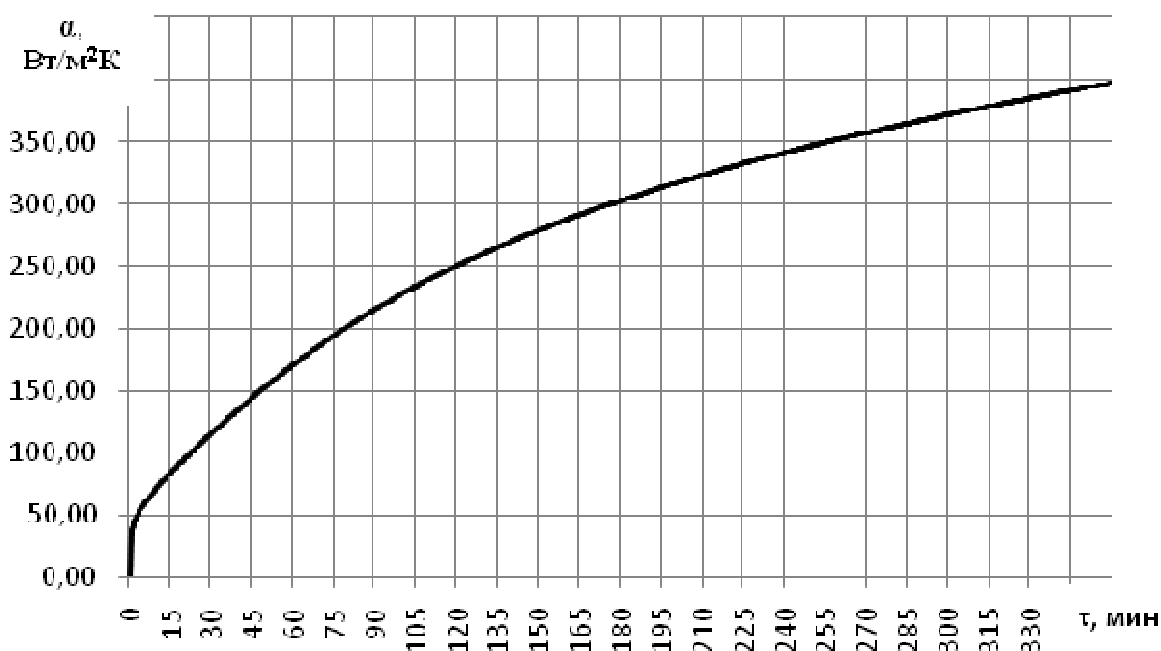


Рис. 1. Изменение коэффициента теплоотдачи со временем.

Сравнение значений коэффициента теплоотдачи, полученных различными авторами, показывает, что имеются значительные расхождения численных значений для всего периода огневого воздействия. Вместе с этим важно подчеркнуть, что полученные авторами результаты довольно хорошо согласуются с данными, полученными в [8], максимальное расхождение не превышает 10%. При этом незначительные расхождения в численных значениях коэффициента теплоотдачи, по всей видимости, удастся устранить при более детальном исследовании процессов теплообмена. Таким образом, мы получили возможность решать задачу прогрева строительных конструкций при граничных условиях третьего рода.

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF HEAT TRANSFER IN BUILDING DESIGNS AT STANDARD FIRE

A.M. Zaytsev, V.A. Bolgov, D.C. Chernykh

Analyzed the boundary conditions of heat exchange building designs at real fires. Literature data on the heat transfer coefficient is sparse and extremely contradictory. Presented the results obtained by the authors.

KEYWORDS: STANDARD FIRE, HEAT TRANSFER COEFFICIENT, HEATING CONSTRUCTIONS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушев В.П., Пчелинцев В.А., Федоренко В.С., Яковлев А.И. Огнестойкость зданий. М.: Стройиздат, 1970. – 261 с.
2. Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций на основе применения ЭВМ. М.: ВНИИПО, 1975.-222 с.
3. Зайцев А.М., Крикунов Г.Н., Яковлев А.И. Расчет огнестойкости элементов строительных конструкций. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1982. – 116 с.

4. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций/НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 40 с.
5. Ваничев А.П. Приближенный метод решения задач теплопроводности в твердых телах. - В сб.: Труды НИИ-1. - М.: Изд-во бюро новой техники, 1947
6. Башкирцев М.П. Задачник по теплопередаче в пожарном деле. – М.: Изд-во ВШ МВД СССР, 1975. – 228 с.
7. Давыдкин Н.Ф., Страхов В.Л. Огнестойкость конструкций подземных сооружений / Под ред. И.Я. Дормана. – М.: Информационно-издательский центр «ТИМР», 1998. – 296 с.
8. Молчадский И.С. Пожар в помещении. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.
9. Взрывобезопасность и огнестойкость в строительстве/Под ред. Н.А.Стрельчука. М.: Стройиздат, 1970. - 127 с.