

*Е.А. Рыбка, к.т.н., ст. научн. сотр., НУГЗУ*

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
ТЕРМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Получено общую модель термического комплекса, которая представляет собой передаточную функцию термического комплекса для любой точки его рабочей полости. Проанализированы погрешности рас-согласования между постоянными времени термического комплекса, полученными экспериментально и теоретически.

**Ключевые слова:** режим нагрева, термический комплекс, передаточная функция, аппроксимация, преобразования Лапласа, погрешность рассогласования.

**Постановка проблемы.** Одним из эффективных направлений обеспечения пожарной безопасности объектов строительства является использование лабораторных методов оценки пределов огнестойкости строительных конструкций. Использование таких методов сопряжено с проблемой усовершенствования оборудования для испытания образцов строительных конструкций на огнестойкость, в частности малоразмерных нагревательных печей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Современное оборудование для испытания образцов строительных конструкций на огнестойкость представляют собой малогабаритные печи [1-3], которые имеют простую систему управления нагревательным устройством, что препятствует корректной реализации необходимых законов изменения температуры в их рабочем пространстве.

В работе [4] представлена процедура формирования математического описания входного воздействия системы управления для воспроизведения произвольных температурных законов в рабочем объеме разработанного термического комплекса [5] для испытаний образцов строительных конструкций на огнестойкость.

Однако эта процедура не учитывает геометрические размеры используемых образцов, то есть удаленность от осевой линии точек рабочего пространства печи, в которых необходимо обеспечить требуемые режимы нагрева.

**Постановка задачи и ее решение.** В этой связи целью работы является идентификация общей модели малогабаритного термического

комплекса для любой точки его рабочей полости.

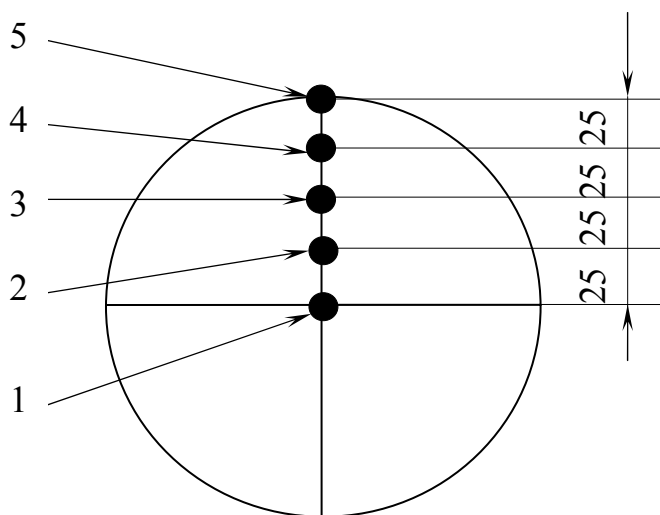
Передаточную функцию разработанного термического комплекса для испытаний образцов строительных конструкций на огнестойкость  $W(p)$ , можно записать как произведение передаточных функций нагревательного устройства с системой управления  $W_0(p)$  и температурного датчика  $W_T(p)$

$$W(p) = W_0(p) W_T(p). \quad (1)$$

С использованием процедуры [4] формирования математического описания входного воздействия системы управления для воспроизведения различных температурных законов в рабочем объеме термического комплекса выражение для передаточной функции  $W(p)$  принимает вид [6]

$$W(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (2)$$

С учетом ранее проведенных исследований [4, 5], установлено, что значения нормированных переходных функций термического комплекса изменяются вдоль радиуса рабочей полости (рис. 1). Следовательно, и значения постоянных времени  $T_1$  и  $T_2$ , будут зависеть от величины радиуса  $r$  рабочей полости.



**Рис. 1.** Схема расположения контрольных точек при исследовании динамических характеристик термического комплекса: 1-5 – условное обозначение точек

Значения постоянных времени  $T_1$ ,  $T_2$  и  $r$  для различных точек рабочего пространства печи представлено в табл. 1.

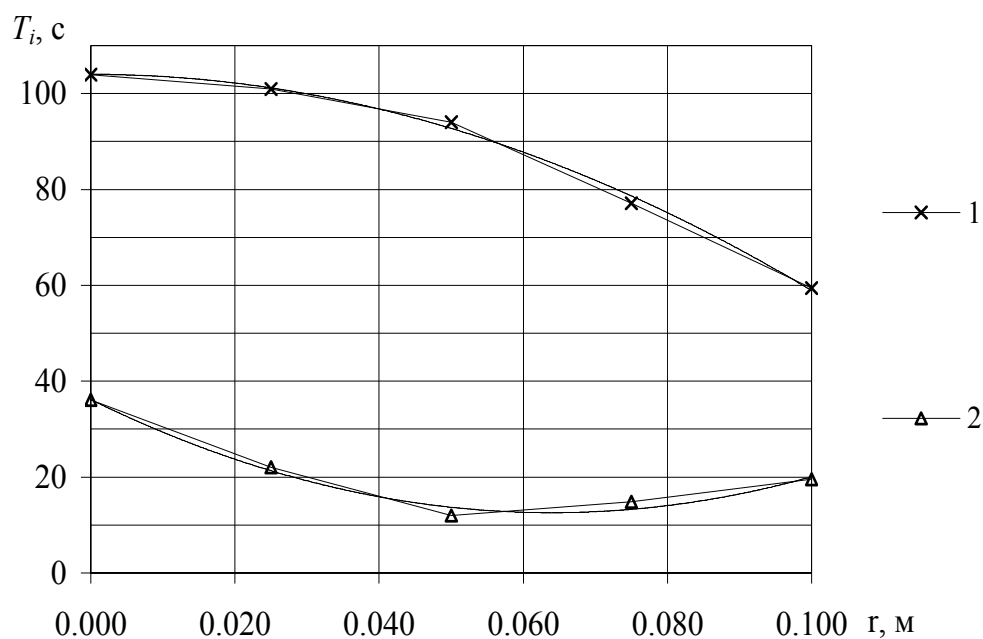
**Табл. 1. Значения параметров  $T_1$ ,  $T_2$  и  $r$  для различных точек рабочего пространства термического комплекса**

№	1	2	3	4	5
$r$ , мм	0	25	50	75	100
$T_1$ , с	103,91	100,94	94,03	77,13	59,45
$T_2$ , с	36,09	22,06	11,97	14,87	19,55

Анализ данных приведенных в табл. 1, свидетельствует о том, что постоянные времени термического комплекса могут быть описаны моделью

$$T_{ri}(r) = c_i r^2 + d_i r + g_i. \quad (3)$$

Графический вид изменения параметров  $T_1$  и  $T_2$  в радиальном направлении рабочего пространства печи термического комплекса приведен на рис. 2.



**Рис. 2. Зависимость постоянных времени  $T_1$  (1) и  $T_2$  (2) термического комплекса от радиуса рабочего пространства**

Эти зависимости могут быть аппроксимированы полиномами второго порядка, т.е.

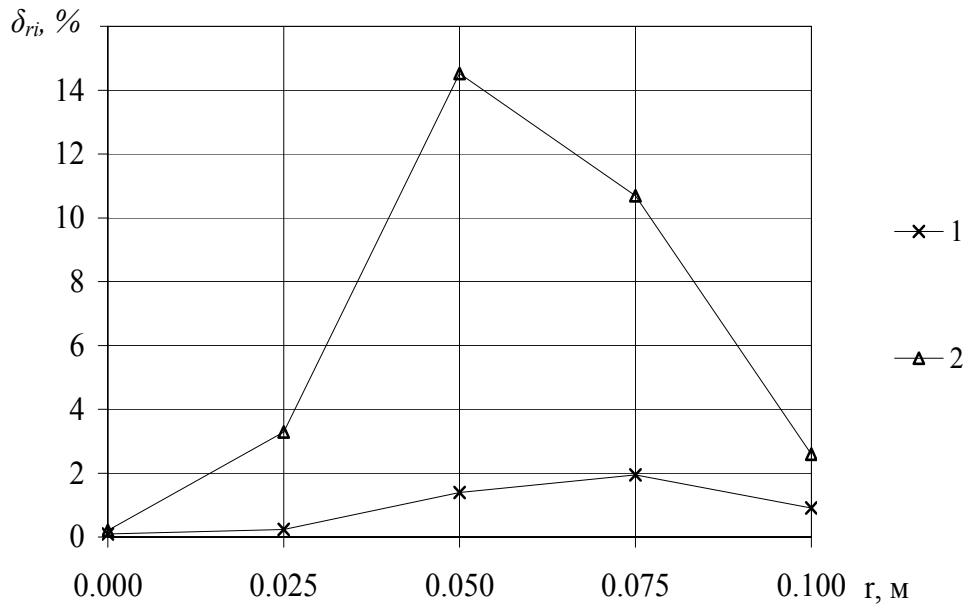
$$T_{r1}(r) = -4507,4r^2 - 0,19r + 104, \quad (4)$$

$$T_{r2}(r) = 5764,5r^2 - 737,5r + 36,17. \quad (5)$$

Погрешности рассогласования между постоянными времени термического комплекса  $T_i$  и  $T_{ri}$ , определяются следующим образом

$$\delta_{ri} = \frac{|T_{ri} - T_i|}{T_i} \cdot 100\%, \quad (6)$$

а их графические зависимости приведены на рис. 3, при этом среднее значение погрешности для  $T_1$  составляет 0,95%, а для  $T_2$  – 6,2%,



**Рис. 3.** Погрешности рассогласования между постоянными времени термического комплекса  $T_i$  и  $T_{ri}$ , полученные в результате аппроксимации: 1)  $i = 1$ , 2)  $i = 2$

Учитывая выражения (4-5), общую модель нагревательного устройства с системой управления термического комплекса можно представить как

$$W(p, r) = \frac{1}{(-4507,4r^2 p + 0,19rp + 104p + 1)(5764,5r^2 p - 737,5rp + 36,17p + 1)}. \quad (7)$$

Это выражение представляет собой передаточную функцию термического комплекса для любой точки его рабочей полости.

**Выводы.** Идентифицировано общую радиальную модели термического комплекса для испытаний образцов строительных конструкций на огнестойкость, которая представляет собой передаточную функцию термического комплекса для любой точки его рабочей полости. Проанализированы погрешности рассогласования между постоянными времени термического комплекса, полученными экспериментально и теоретически.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу: Методика. – М.: ВНИИПО, 1998. – 19 с.
2. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности: НПБ 236-97. – [Действующий с 1997-06-01, введены в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 29 апреля 1997 г. N 25] –М., 1997. – 8 с.
3. Поздєєв А.В. Урахування впливу модифікаторів бетону залізобетонних балок при розрахунковому визначенні їх вогнестійкості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 “Пожежна безпека” / А.В. Поздєєв. – Київ, 2012. – 22с.
4. Рыбка Е.А. Синтез математического описания управляющего воздействия на нагревательные элементы термического комплекса для испытаний образцов строительных конструкций на огнестойкость / Е.А. Рыбка, В.М. Гвоздь // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. трудов. – 2014. – № 35. – С. 179-187.
5. Андронов В.А. Лабораторна установка для визначення вогнезахисних властивостей реактивних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій / В.А. Андронов, Є.О. Рибка // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 3-11.
6. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: ХПТУ, 1993. – 288с.

Є.О. Рибка

### **Ідентифікація радіальної моделі термічного комплексу для випробувань зразків будівельних конструкцій на вогнестійкість**

Отримано загальну модель термічного комплексу, яка представляє собою передочну функцію термічного комплексу для будь-якої точки його робочого простору. Проаналізовано похибки неузгодження між постійними часу термічного комплексу, отриманими експериментально і теоретично.

**Ключові слова:** режим нагріву, термічний комплекс, передаточна функція, апроксимація, перетворення Лапласа, похибка неузгодження.

E.A. Rybka

### **Identification of radial thermal model system for testing of samples of building structures for fire resistance**

The General model of the thermal complex, which represents the transfer function of the thermal complex for any point in the working cavity. Analyzed the errors of misalignment between the constant-time thermal complex, obtained experimentally and theoretically.

**Keywords:** heating mode, heat is the complex transfer function, approximation, Laplace transform, the error of the error.