

Е.А. Рыбка, старший научный сотрудник, НУГЗУ

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

Реализован эксперимент по определению динамических характеристик термического комплекса. Проведена идентификация передаточных функций комплекса. Проанализирована погрешность рассогласования между экспериментальными и теоретическими данными.

Ключевые слова: предел огнестойкости, эксперимент, термический комплекс, динамические характеристики, передаточная функция, погрешность рассогласования.

Постановка проблемы. При возведении зданий и сооружений для их безопасной эксплуатации и проведении оперативно-спасательных работ в случае пожара, является необходимым применение эффективных технических решений для обеспечения огнестойкости строительных конструкций согласно действующих нормативных документов.

Тенденция развития исследований в области определения пределов огнестойкости строительных конструкций [1-2] показывают, что перспективным является использование подхода, который предусматривает применение расчетных методик, в связи с тем, что они имеют меньшую стоимость, трудоемкость, и не требуют дорогостоящего громоздкого экспериментального оборудования.

Наряду с развитием расчетно-экспериментальных методов требуется решения проблема усовершенствования испытательного оборудования для их реализации.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные лабораторные испытательные печи [3-5] для определения теплофизических характеристик строительных материалов представляют собой прямоугольные камеры объемом до 1 м³ с электрической или огневой системой нагрева рабочего пространства. Большинство данных печей имеют простую систему управления нагревательным устройством, что препятствует корректной реализации необходимых законов изменения температуры в их рабочем пространстве.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является определение динамических характеристик термического комплекса, который представляет собой цилиндрическую печь с системой управления [6] и набором термоэлектрических преобразователей типа ТХА-

210. Нагрев рабочего пространства печи обеспечивается за счет 12 карбидокремниевых нагревательных элементов типа КЕН А 8/300/150.

При проведении поискового эксперимента производилось исследование изменения температуры в осевом направлении и по окружности рабочей зоны печи. Установлено, что в печи создается осесимметричное температурное поле, что указывает на возможность измерения температуры только в радиальном направлении.

Экспериментальное изучение динамических свойств термического комплекса проводилось при постоянном по величине воздействии системы управления. В этом случае зависимость температуры t в некоторой точке рабочего пространства печи от времени τ представляет собой локальную переходную функцию $h_s(\tau)$ (см. табл. 1).

Регистрация показаний термопар производилась с использованием персонального компьютера с интервалом 20с. Значения нормированной температурной зависимости $h_s(\tau)$ в точке рабочего пространства печи представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Динамические характеристики термического комплекса по определению теплофизических свойств строительных материалов полученных экспериментально $h_s(\tau)$, $h_{s1}(\tau)$ и в результате процедуры идентификации $h(\tau)$, $h_2(\tau)$

τ , с	$h_s(\tau)$	$h_1(\tau)$	$h_{s1}(\tau)$	$h_2(\tau)$
0	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,099	0,172	0,005	0,100
40	0,212	0,314	0,006	0,253
60	0,341	0,432	0,006	0,392
80	0,455	0,530	0,006	0,507
100	0,553	0,611	0,005	0,600
120	0,634	0,678	0,004	0,676
140	0,701	0,733	0,003	0,738
160	0,757	0,779	0,003	0,788
180	0,801	0,817	0,002	0,828
200	0,835	0,848	0,002	0,861
220	0,860	0,874	0,001	0,887
240	0,881	0,896	0,001	0,909
260	0,893	0,914	0,001	0,926
280	0,903	0,929	0,000	0,940
300	0,913	0,941	0,000	0,951
320	0,921	0,951	0,000	0,961
340	0,927	0,960	0,000	0,968
360	0,932	0,966	0,000	0,974
380	0,936	0,972	0,000	0,979
400	0,940	0,977	0,000	0,983

Анализ экспериментальных данных, свидетельствует о том, что

в первом приближении динамические свойства термического комплекса могут описываться моделью вида

$$h_1(\tau) = 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right), \quad (1)$$

которая представляет собой приведенную переходную функцию, где T – постоянной времени, подлежащая идентификации.

Для идентификации параметра T возможно использование ряда способов [7-9], предполагающих применение дифференцирующих или интегрирующих операторов. Предпочтение следует отдать второму варианту [8], реализация которого сводится к использованию выражения

$$T = \int_0^{\infty} [1 - h_2(\tau)] d\tau \approx \sum_{i=0}^n [1 - h_2(\tau_{i+1})] \cdot (\tau_{i+1} - \tau_i). \quad (2)$$

С использованием второго выражения (2) и данных табл. 1 определена величина постоянной времени термического комплекса, которая равна 103,8с. В табл. 1 приведены значения для $h_1(\tau)$, которые получены в соответствии с (1) при $T = 103,8с$.

На рис. 1 (кривая 1) приведен график для относительной погрешности рассогласования $h_2(\tau)$ и $h_1(\tau)$, из которого следует, что максимальное значение этой погрешности составляет 6,8%.

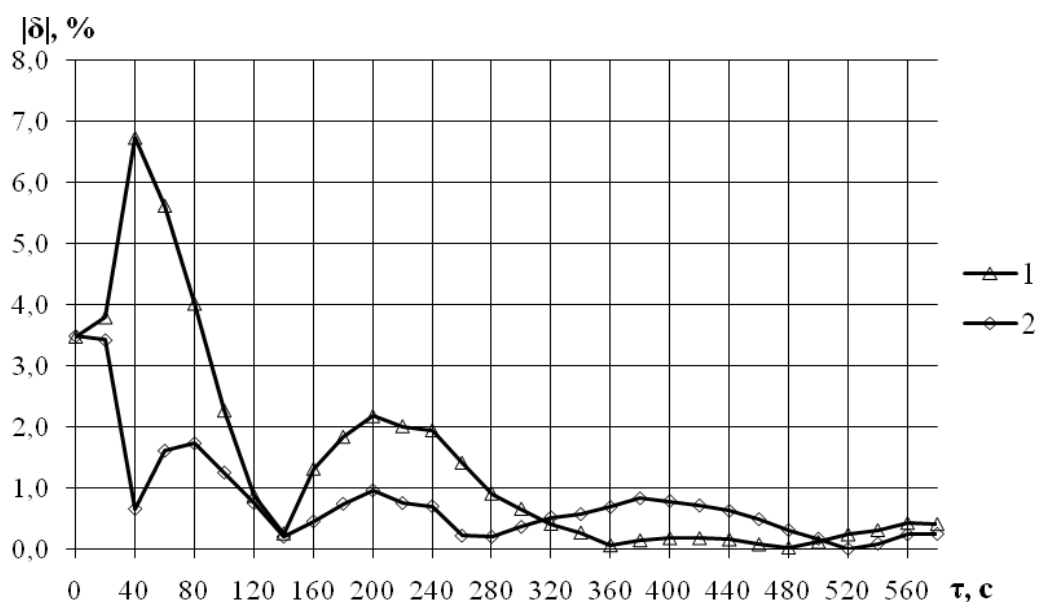


Рис. 1 – Погрешности рассогласования между динамическими характеристиками термического комплекса, полученными экспериментально и теоретически 1, 2

Уменьшение погрешности идентификации переходной функции термического комплекса возможно путем использования аппроксимирующей функции $h_2(\tau)$, имеющей вид

$$h_2(\tau) = 1 - \sum_{i=1}^2 a_i \exp(-b_i \tau), \quad (3)$$

где a_i, b_i – параметры идентификации, подлежащие определению, причем

$$\sum_{i=1}^2 a_i = 1. \quad (4)$$

Если $b_1 = T_1^{-1}$ и $b_2 = T_2^{-1}$, то

$$a_1 = -T_1(T_1 - T_2)^{-1}, \quad a_2 = T_2(T_1 - T_2)^{-1}. \quad (5)$$

Для определения параметров T_i , имеющих смысл постоянных времени, могут быть использованы методы Ормана [7, 9] или Ольденбурга-Сарториуса [7]. Во втором случае алгоритм идентификации постоянных времени является простым и не требует больших трудозатрат. Этот алгоритм предполагает наличие в качестве исходной информации координаты точки τ_p перегиба функции $h_3(\tau)$, которая соответствует условию

$$\frac{dh_3(\tau)}{d\tau} = \max. \quad (6)$$

Интервал времени между координатами $\tau = \tau_p$ и $\tau = \tau_1$, где τ_1 точка пересечения касательной к функции $h_3(\tau)$ в точке $\tau = \tau_p$ и уравнения $h_3(\infty) = 1$, равны сумме постоянных времени [7], т.е. $T_1 + T_2$. Величина параметра T_1 определяется из выражения

$$T_1 = (T_1 + T_2) \left[0,5 + \left(\frac{b}{a^2} - 0,75 \right)^{0,5} \right], \quad (7)$$

где

$$a = 1 - h_3(\tau_p); \quad b = 1 - h_3(2\tau_p). \quad (8)$$

В табл. 1 приведены значения функции $h_{3,i}(\tau_i)$, которая определялась следующим образом

$$h_{3,i}(\tau_i) = \frac{h_3(\tau_{i+1}) - h_3(\tau_i)}{\tau_{i+1} - \tau_i}, \quad i = \overline{0, n}. \quad (9)$$

Эта функция имеет экстремум при $\tau_p \approx 40$ с. Тогда $h_3(\tau_p) = 0,247$ и

$h_3(2\tau_p) = 0,490$, вследствие чего $a = 0,753$, $b = 0,510$. Для суммы постоянных времени T_1 и T_2 имеет место $T_1 + T_2 = 107,0c$. Тогда из (7) следует, что $T_1 = 94,922c$, а величина T_2 равна $12,078c$. В соответствии с (5) имеем

$$a_1 = -1,146, a_2 = 0,146,$$

т.е.

$$h_2(\tau) = 1 + 1,146 \exp(-0,0105 \tau) - 0,146 \exp(-0,0828 \tau). \quad (10)$$

В табл. 1 приведены данные по зависимости (10).

На рис. 1 (кривая 2) приведен график для относительной погрешности рассогласования между переходными функциями $h_3(\tau)$ и $h_2(\tau)$, из которого следует, что значение этой погрешности не превышает 3,5%.

Использование зависимости (3) позволяет получить выражение для передаточной функции термического комплекса $W_{TK}(p)$

$$W_{TK}(p) = L \left[\frac{dh_2(\tau)}{d\tau} \right] = L \left[\sum_{i=1}^2 a_i b_i \exp(-b_i \tau) \right], \quad (11)$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

С учетом (10) выражение для передаточной функции $W_{TK}(p)$ принимает вид [10]

$$W_{TK}(p) = \frac{p}{(94,9p + 1)(12,1p + 1)}. \quad (12)$$

Выводы. Получены выражения для динамических моделей термического комплекса, ориентированного на определение теплофизических характеристик при решении задачи по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, представляющие локальные переходную и передаточную функции этого комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поздеев С.В. Расчет температурных режимов прогрева камеры печи при тепловых испытаниях бетонных образцов. / Поздеев С.В., Некора О.В., Григорян Б.Б., Поздеев А.В. // Матеріали VIII Всеукраїнської наук.-практ. конференції рятувальників. – УкрНДІПБ, 2006. – С.253 – 257.
2. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / Перельмутер А.В., Сливкер В.И. – К.: Изд-во «Сталь», 2002. – 600 с.