

УДК614.841.45

## ОЦЕНКА ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЕРМИКУЛИТО-ЦЕМЕНТНОЙ ПЛИТЫ «ЭНДОТЕРМ 210104» СТАНДАРТИЗИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ

С.В. Новак\*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. П.Г. Круковский<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф., Н.Б. Григорьян<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

<sup>2</sup> Институт технической теплофизики НАН Украины

<sup>3</sup> Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты, Украина

### ИНФОРМАЦИЯ ПРО СТАТЬЮ

Предоставлена в редакцию: 01.03.2017

Прошла рецензирование: 12.04.2016

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

задача теплопроводности, критическая температура стали, огнезащитная способность, предел огнестойкости, стальная конструкция, стандартизированные методы.

### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты определения характеристики огнезащитной способности огнезащиты для несущих стальных конструкций из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» стандартизированными методами, приведенными в ДСТУ Б В.1.1-17. Показано, что большая часть значений минимальной толщины этой огнезащиты, полученных методом числовой регрессии и методами, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, превышает величины, полученные методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности. При этом наибольшее отклонение толщины огнезащиты от значений, полученных методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности, имеет место при использовании метода числовой регрессии. Для методов, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, это отклонение значительно меньше, чем для метода числовой регрессии.

Среди существующих методов оценки огнезащитной способности огнезащитных материалов (покрытий, облицовок и т.д., далее – ОЗП) для несущих стальных конструкций [1] наиболее приемлемыми для практического применения являются методы (далее – стандартизированные методы), приведенные в национальном стандарте ДСТУ Б В.1.1-17 [2]. К этим методам относятся: метод числовой регрессии; два метода, в которых использовано упрощенное уравнение теплопроводности (с постоянной и переменной теплопроводностью); два метода, в которых использовано уточненное уравнение теплопроводности (с постоянными и переменными теплофизическими характеристиками) и решение обратной задачи теплопроводности (далее – ОЗТ) в общей постановке; графический метод. Характеристикой огнезащитной способности ОЗП является [2] зависимость минимальной толщины огнезащитного материала  $d_{Pmin}$  от приведенной толщины стального профиля конструкции  $V/A_p$ , критической температуры стали  $\theta_{cr}$  и нормируемого предела огнестойкости конструкции  $t_\tau$ , которая выражается в виде следующей функции:

$$d_{Pmin} = f\left(\frac{V}{A_p}, \theta_{cr}, t_\tau\right), \quad (1)$$

где  $V$  – объем стального профиля конструкции,  $m^3$ ,  $A_p$  – площадь поверхности стального профиля конструкции, которая поддается огневому воздействию,  $m^2$ .

Указанные выше стандартизированные методы предназначены для определения необходимых значений толщины  $d_{Pmin}$  для широкого диапазона изменения приведенной толщины профиля конструкции  $V/A_p$ , критической температуры стали  $\theta_{cr}$  и нормируемого предела огнестойкости конструкции  $t_\tau$ . Положения вышеуказанного стандарта позволяют применять любой стандартизированный метод для определения зависимости (1). Однако в стандарте отсутствуют четкие рекомендации о границах применимости каждого из этих методов, а также данные об их точности, что важно для их практического использования.

Результаты расчетных исследований, приведенные в [3], показывают следующее. Применение любого стандартизированного метода позволяет определить значения толщины ОЗП, при которых обеспечиваются нормированные пределы огнестойкости несущих стальных конструкций. При этом эти

\*E-mail: novak.s.fire@gmail.com

значения толщины ОЗП значительно завышены при их определении методом числовой регрессии. Наиболее приближены к точным величинам расчетные толщины, определенные методами, в которых используется уточненное уравнение теплопроводности и решение обратной задачи теплопроводности. Методы, в которых используют упрощенное уравнение теплопроводности, по точности занимают промежуточное место среди вышеуказанных методов – погрешность при их применении может достигать десятков процентов. Графический метод не позволяет определять толщины ОЗП для всего диапазона параметров ( $t_{cr}$ ,  $\theta_{cr}$ ,  $V/A_p$ ) несущих стальных конструкций, а по своей точности приближается к методу числовой регрессии.

Приведенная выше оценка точности стандартизированных методов была получена расчетным путем с использованием только метода вычислительного эксперимента [3]. При этом не применялись экспериментальные данные, полученные при испытаниях реального огнезащитного материала. Поэтому актуальной является задача оценки отклонений значений минимальной толщины  $d_{pmin}$  огнезащитного материала конкретного типа, полученных разными стандартизованными методами с

использованием экспериментальных данных, чему и посвящена данная работа.

В качестве исходных данных для решения поставленной задачи были приняты экспериментальные данные, полученные при испытаниях огнезащиты из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» производства НПП «Спецматериалы» (г. Донецк, Украина) по ДСТУ Б В.1.1-17 [2]. В таблице 1 приведены типоразмеры профилей, значения их приведенной толщины  $V/A_p$  и толщины ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» для 10-ти образцов стальных колонн, для которых экспериментально определялись температуры в условиях их четырехстороннего нагрева при стандартном температурном режиме. Облицовку профилей проводили плитами толщиной 20 мм. На рисунке 1 приведены экспериментальные зависимости от времени средней температуры в печи и температуры образцов стальных колонн № 6, №7 и №8, которые имеют одинаковую приведенную толщину профиля и разную толщину ОЗП. Указанные экспериментальные зависимости, полученные при испытаниях 10-ти образцов стальных колонн (см. таблицу 1), использовались для определения характеристики огнезащитной способности ОЗП стандартизованными методами, приведенными в ДСТУ Б В.1.1-17 [2].

Таблица 1 -Типоразмеры профилей, значения их приведенной толщины  $V/A_p$  и толщины ОЗП для 10-ти образцов стальных колонн

№образца	Типоразмер профиля	Приведеннаятолщина профиля $V/A_p$ , м	ТолщинаОЗП $d_p$ , м
1	HEM280	0,01882	0,02
2	HEB450	0,01356	0,04
3	HEB300	0,01153	0,02
4	HEA300	0,00882	0,02
5	HEA300	0,00882	0,04
6	HEA200	0,00630	0,02
7	HEA200	0,00630	0,04
8	HEA200	0,00630	0,06
9	IPE200	0,00441	0,04
10	IPE200	0,00441	0,06

При определении характеристики огнезащитной способности ОЗП методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности, решение ОЗТ было проведено экстремальным методом, основанным на использовании итерационного метода Ньютона – Гаусса поиска минимума среднеквадратического отклонения расчетных температур от экспериментальных и метода

регуляризации Тихонова А.Н., с использованием оптимального алгоритма [4]. Полученное решение ОЗТ по определению теплофизических характеристик (далее – ТФХ) огнезащитного покрытия из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104», для которого среднеквадратическое отклонение составило наименьшее значение 25,6 °С, приведено на рис. 2 и 3.

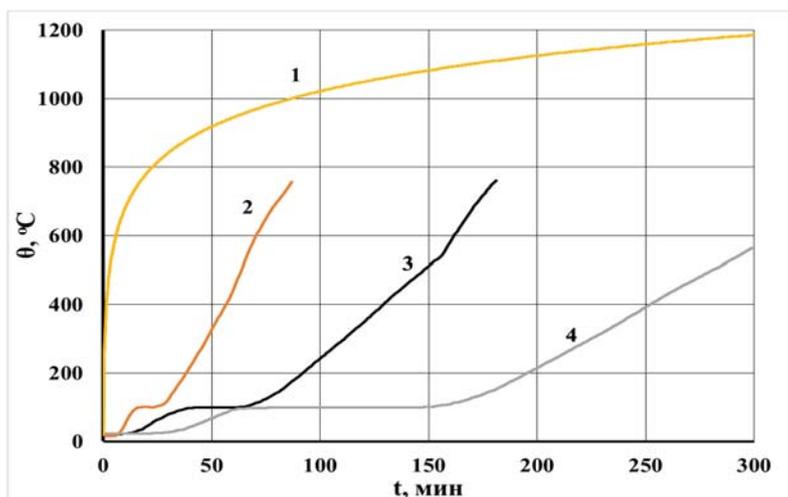


Рисунок 1 - Зависимости от времени температуры в печи (1) и температуры образцов стальных колон № 6 (2), №7 (3) и №8 (4)

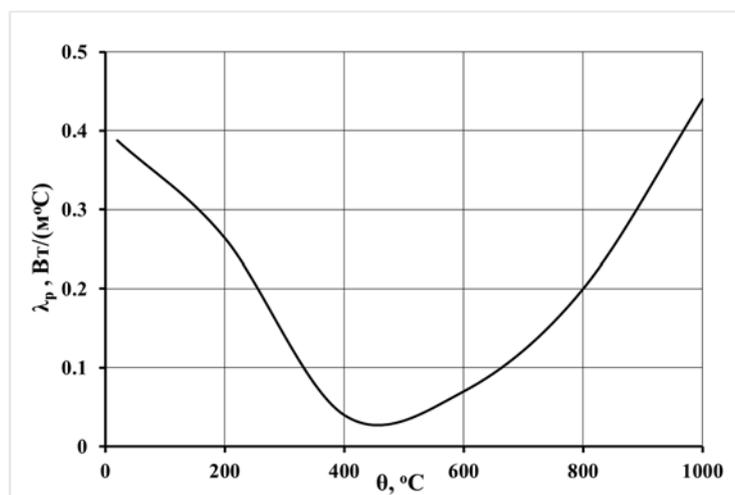


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента теплопроводности ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» от температуры, полученная решением ОЗТ

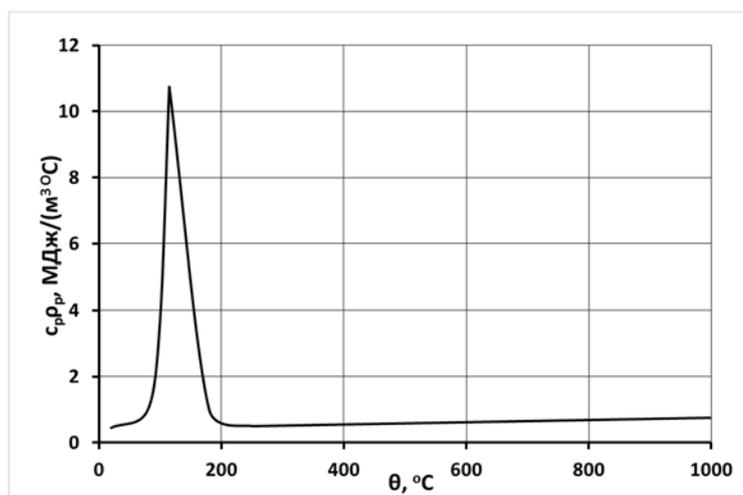


Рисунок 3 - Зависимость удельной объемной теплоемкости ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» от температуры, полученная решением ОЗТ

Ход полученной зависимости коэффициента теплопроводности ОЗП от температуры можно пояснить следующим образом. В процессе нагрева ряда образцов стальных колонн их огнезащитная облицовка из плит частично обрушалась, что определялось путем визуального наблюдения. Из-за отсутствия технических средств определить динамику такого обрушения для всех 10-ти образцов было невозможно. Такое поведение образцов условно приводит к повышению теплопроводности их ОЗП и интенсивности нагрева образцов при высоких температурах. Этим повышением (с учетом того, что решением ОЗТ определяют ТФХ, осредненные для 10-ти образцов) можно пояснить характер изменения зависимости коэффициента теплопроводности ОЗП при температурах более чем 500 °С.

Наличие экстремума на зависимости удельной объемной теплоемкости ОЗП от температуры в области 100 °С объясняется наличием в материале химически и физически связанной воды в количестве около 15 % (по данным разработчика ОЗП). Из-за этого при нагреве материала происходит процесс кипения и испарения имеющейся в нем воды, который сопровождается эндотермическим эффектом. При этом температура образцов стабилизируется на уровне 100 °С до окончания этого процесса, что иллюстрируют кривые 2 – 4 на рис. 1.

Используя найденные зависимости ТФХ огнезащитного материала, решением прямой задачи теплопроводности (далее – ПЗТ) были определены расчетные значения времени  $t_p$  достижения критических температур для образцов №1 – №10. Из сравнения этих значений с экспериментальными величинами  $t_c$  был сделан вывод о том, что полученное решение ОЗТ не удовлетворяет критериям пригодности, приведенным в [2]. Среднее значение отклонений  $\delta_{\text{ср}}$  расчетного времени от экспериментального времени достижения критической температуры для ряда образцов больше нуля и более чем 20 % значений всех отклонений  $\delta_i$ , больше нуля.

Модифицированные значения коэффициента теплопроводности огнезащитного покрытия ( $\lambda_{\text{mod}(p)}$ ) в каждой

узловой точке по температуре были рассчитаны по формуле (2). При этом определено значение коэффициента модификации  $K$ , равное 1,1, которое привело к тому, что расчетные значения времени достижения критической температуры удовлетворяют критериям приемлемости и наиболее приближены к экспериментальным значениям этого времени.

$$\lambda_{\text{mod}(p)} = K \lambda_p, \quad (2)$$

где  $\lambda_{\text{mod}(p)}$  – модифицированное значение коэффициента теплопроводности ОЗП, Вт/(м °С);

$\lambda_p$  – значение коэффициента теплопроводности ОЗП, полученное решением ОЗТ, Вт/(м °С);

$K$  – коэффициент модификации, который больше единицы.

Используя модифицированную зависимость  $\lambda_p(\theta_p)$  и зависимость  $c_p \rho_p(\theta_p)$ , приведенную на рис. 3, многократным решением ПЗТ были определены такие значения минимальной толщины  $d_{Pmin}$  ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104», которые обеспечивают нормированные пределы огнестойкости несущих стальных конструкций в диапазоне от 45 мин до 240 мин (45, 60, 120, 150, 180 и 240 мин) для заданных величин приведенной толщины стального профиля от 4 мм до 20 мм и критической температуры стали от 350 °С до 750 °С. В частности, в таблице 2 даны значения этих толщин ОЗП для пределов огнестойкости 45, 150 и 240 мин. На рис. 4 приведены зависимости толщины  $d_{Pmin}$  ОЗП от приведенной толщины профиля и предела огнестойкости конструкции, полученные для критической температуры 500 °С.

Величины минимальной толщины  $d_{Pmin}$  ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» для приведенных выше значений нормированного предела огнестойкости, приведенной толщины стального профиля и критической температуры стали также были определены другими стандартизированными методами, кроме графического (из отсутствия необходимого количества исходных экспериментальных данных для его реализации).

Таблиця 2 - Значения минимальной толщины ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» для пределов огнестойкости 45, 150 и 240 мин, которые определены методом, основанным на использовании уточненного уравнения теплопроводности и решении ОЗТ

Предел огнестойкости $t_r$ , мин	45			150			240		
Критическая температура $\theta_{cr}$ , °C	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Приведенная толщина $V/A_p$ , мм	Минимальная толщина огнезащитного покрытия $d_{Pmin}$ , мм								
4,0	16,85	13,97	8,14	50,31	46,10	36,12	68,79	63,72	51,22
5,0	15,86	12,61	6,56	49,05	44,34	33,18	67,46	61,82	47,82
6,67	14,33	10,67	4,68	47,06	41,56	29,02	65,35	58,78	43,08
10,0	11,75	7,81	2,53	43,45	36,62	22,82	61,43	53,24	35,90
20,0	6,92	3,64	0,34	34,60	25,92	13,24	51,26	40,19	22,77

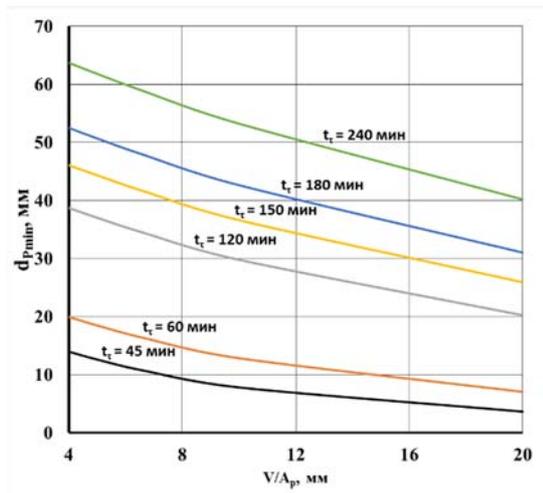


Рисунок 4 - Зависимости минимальной толщины ОЗП из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» от приведенной толщины профиля и предела огнестойкости несущей стальной конструкции, полученные для критической температуры 500 °C.

Сравнение расчетных значений минимальной толщины  $d_{Pminp}$  огнезащитного материала, полученных используемыми стандартизованными методами, было проведено с использованием следующей формулы:

$$\delta_d = 100 (d_{Pminp} - d_{PminБ}) / d_{PminБ} \quad (3)$$

где  $\delta_d$  – отклонение расчетных значений минимальной толщины  $d_{Pminp}$  огнезащитного покрытия, полученных рассматриваемым методом, от базовых значений  $d_{PminБ}$  этой толщины, %.

За базовые значения  $d_{PminБ}$  были приняты величины минимальной толщины ОЗП, полученные методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности и решение ОЗТ.

В таблицах 3 – 5 приведены результаты определения значений отклонения  $\delta_d$ ,

рассчитанные по формуле (3), для методов, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, и метода числовой регрессии для пределов огнестойкости 45, 150 и 240 мин. Прочерки в этих таблицах вызваны тем, что расчетные значения толщины  $d_{Pminp}$  для рассматриваемых параметров не попадают в диапазон приемлемых расчетных значений толщины, который был определен согласно положений ДСТУ Б В.1.1-17 [2]. Этот диапазон для каждого метода был определен по данным о толщинах ОЗП на образцах, приведенным в таблице 1, и допустимым отклонениях расчетной толщины, указанным в ДСТУ Б В.1.1-17 [2]. Поэтому величины отклонения  $\delta_d$  для рассматриваемых параметров не рассчитывали

Таблица 3 - Значения отклонения  $\delta_d$  для пределов огнестойкости 45, 150 и 240 мин, которые определены по формуле (3) для метода числовой регрессии

Предел огнестойкости $t_r$ , мин	45			150			240		
	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Критическая температура $\theta_{cr}$ , °C	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Приведенная толщина $V/A_p$ , мм	Отклонение $\delta_d$ , %								
	4,0	77,98	107,09	238,45	2,37	5,03	22,92	-	-
5,0	62,30	88,50	222,56	-0,47	1,08	19,08	-	1,68	15,52
6,67	45,29	-	-	-2,85	-2,36	15,95	-	2,40	18,22
10,0	-	-	-	-3,13	-2,92	16,30	-	7,12	27,27
20,0	-	-	-	9,19	13,66	-	-	32,35	72,02

По полученным расчетным данным относительно отклонения  $\delta_d$  для рассматриваемых методов определены диапазоны отклонения  $\delta_d$  и количество значений этого отклонения в интервалах этих диапазонов, которые приведены в таблице 6. Из анализа этих расчетных данных следует, что большая часть (71,4 %) значений минимальной толщины огнезащиты, полученных методом числовой регрессии и методами, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, превышает величины, полученные методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности. Наибольшее отклонение толщины  $\delta_d$ , составляющее 238 %, имеет место при использовании метода числовой регрессии. Для этого метода 80,6 % значений отклонения  $\delta_d$  имеют положительную величину (расчетные толщины материала превышают базовые  $d_{pminB}$ ) и 19,4 % – отрицательную величину (расчетные толщины меньше базовых на величину до 5 %). Для методов, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, это отклонение значительно меньше, чем для метода числовой регрессии, и не превышает 45

%. При этом имеют положительную величину 54,4 % значений отклонения  $\delta_d$  для метода при задании коэффициента теплопроводности постоянной величиной и 79,2 % – для метода с переменной теплопроводностью. Отрицательную величину имеют 45,6 % значений этого отклонения для метода с постоянной теплопроводностью и 20,8 % – для метода с переменной теплопроводностью. Величины среднеквадратичного отклонения  $F_d$  значений расчетной толщины ОЗП, определенных рассматриваемыми методами, от базовых величин  $d_{pminB}$ , рассчитанные по формуле (4), составляют 53,3 %, 14,1 % и 16,6 %, соответственно для метода числовой регрессии и методов, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности при задании коэффициента теплопроводности постоянной и переменной величиной

$$F_d = \left[ \sum_{j=1}^m (\delta_{d_j})^2 \right]^{0,5} \cdot m^{-0,5}, \quad (4)$$

где  $m$  – количество значений отклонения  $\delta_d$ .

Таблица 4 - Значения отклонения  $\delta_d$  для пределов огнестойкости 45, 150 и 240 мин, которые определены по формуле (3) для метода, в котором используется упрощенное уравнение теплопроводности при задании коэффициента теплопроводности постоянной величиной

Предел огнестойкости $t_r$ , мин	45			150			240		
	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Критическая температура $\theta_{cr}$ , °C	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Приведенная толщина $V/A_p$ , мм	Отклонение $\delta_d$ , %								
	4,0	40,18	44,67	-	-4,39	1,32	3,54	-14,09	-6,37
5,0	38,02	-	-	-4,49	1,15	3,44	-13,65	-5,87	3,83
6,67	34,68	-	-	-5,52	0,22	2,93	-13,82	-5,84	4,13
10,0	-	-	-	-8,56	-2,05	2,23	-15,27	-6,74	3,09
20,0	-	-	-	-15,92	-6,06	-	-19,92	-8,96	2,64

Таблиця 5 - Значения отклонения  $\delta_d$  для пределов огнестойкости 45, 120 и 240 мин, которые определены по формуле (3) для метода, в котором используется упрощенное уравнение теплопроводности при задании коэффициента теплопроводности переменной величиной

Предел огнестойкости $t_{\tau}$ , мин	45			150			240		
	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Критическая температура $\theta_{cr}$ , °C	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Приведенная толщина $V/A_p$ , мм	Отклонение $\delta_d$ , %								
4,0	43,15	35,08	-	0,46	1,24	10,66	-8,23	-5,52	9,10
5,0	42,50	33,86	-	1,75	2,41	13,59	-6,72	-3,53	13,86
6,67	39,99	-	-	2,74	3,06	17,06	-4,91	-1,26	19,99
10,0	35,66	-	-	2,88	3,44	20,90	-2,93	1,82	27,58
20,0	-	-	-	-0,35	1,31	24,70	-0,94	6,62	38,16

Таблиця 6 - Диапазоны отклонения  $\delta_d$ , рассчитанного по формуле (3), и количество значений этого отклонения в интервалах этих диапазонов, определенные для стандартизированных методов

Стандартизированный метод	Диапазон отклонения $\delta_d$ , %	Количество значений отклонения $\delta_d$ в следующих интервалах, %			
		меньше 0	от 0 до 10 %	от 10 до 50 %	более 50 %
Числовая регрессия	от -5 до 238	19,4	23,9	40,3	16,4
Упрощенное уравнение $\lambda_p = \text{const}$	от -20 до 45	45,6	38,2	16,2	0
Упрощенное уравнение $\lambda_p = \text{var}$	от -8 до 43	20,8	37,5	41,7	0

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие **выводы**.

1. Определена характеристика огнезащитной способности огнезащиты для несущих стальных конструкций из вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» производства НПП «Спецматериалы» (г. Донецк, Украина) стандартизированными методами, приведенными в ДСТУ Б В.1.1-17. Значения минимальной толщины огнезащиты установлены для диапазона изменения приведенной толщины стального профиля конструкции от 4 мм до 20 мм, критической температуры стали от 350 °C до 750 °C и нормируемого предела огнестойкости конструкции от 45 мин до 240 мин.

2. Установлено, что большая часть значений минимальной толщины огнезащиты из плиты «Эндотерм 210104», полученных методом числовой регрессии и методами, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, превышает величины, полученные методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности. Наибольшее отклонение толщины огнезащиты от значений, полученных методом, в котором используется уточненное уравнение теплопроводности, имеет место при использовании метода числовой регрессии. Величина среднеквадратичного отклонения значений минимальной толщины огнезащиты, определенных этим методом, от значений, полученных методом, в котором используется

уточненное уравнение теплопроводности, составляет 53,3 %. Для методов, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности, это отклонение значительно меньше, чем для метода числовой регрессии. Величина среднеквадратичного отклонения

составляет 14,1 % и 16,6 %, соответственно для методов, в которых используется упрощенное уравнение теплопроводности при задании коэффициента теплопроводности постоянной и переменной величиной.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новак С.В. Анализ современных методов определения характеристики огнезащитной способности покрытий и облицовок/ С.В. Новак, Е.Ф. Якименко // Пожарная безопасность: теория и практика. – 2011. - № 8. – С. 56-61.
2. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Захист відпожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ) (Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Метод определения огнезащитной способности (ENV 13381-4:2002, NEQ)).
3. Григорьян Н.Б. Определение границ применимости и точности стандартизированных методов оценки огнезащитной способности покрытий несущих металлических конструкций / Н.Б. Григорьян, П.Г. Круковский, С.В. Новак // Науковий вісникУкрНДПБ. – 2014. – № 1(29). – С. 50 – 59.
4. Григорьян Н.Б. Алгоритм решения обратной задачи теплопроводности при оценке огнезащитной способности покрытий несущих стальных конструкций / Н.Б. Григорьян, П.Г. Круковский, С.В. Новак // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2014. – № 16 – С. 140–147.

## EVALUATION OF THE FIREPROOF ABILITY OF VERMICULITE-CEMENT BOARD "ENDOTHERMS 210104" OBTAINED BY STANDARDIZED METHODS

S. Novak<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, P. Krukovskiy<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Hryhorian<sup>3</sup>, Candidate of Technical Sciences

<sup>1</sup>The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

<sup>3</sup>Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Protection, Ukraine

### KEYWORDS

heat conduction problem, critical temperature of steel, fire resistance limit, fireproof ability, steel construction, standardized methods.

### ANNOTATION

The results of determining the characteristics of the fireproof ability for fire protection of steel structures of the vermiculite-cement board "Endotherm 210104" obtained by standardized methods given in National Standard DSTU B V.1.1-17 are presented. It has been shown that most of the values of the minimum thickness of the fire protection, obtained by numerical regression and methods that use a simplified equation of thermal conductivity is greater than the value obtained by the method, which uses a refined heat equation. The greatest deviation of the thickness of the fire protection of the values obtained by the method, which uses a refined heat equation, there is a method using a numerical regression. For methods that use a simplified heat conduction equation, a deviation significantly smaller than the numerical regression method.

## ОЦІНКА ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВЕРМИКУЛІТО-ЦЕМЕНТНОЇ ПЛИТИ «ЕНДОТЕРМ 210104» СТАНДАРТИЗОВАНИМИ МЕТОДАМИ

С.В. Новак<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. наук. співр. П.Г. Круковський<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф., М.Б. Григор'ян<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України

<sup>3</sup>Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту, Україна

### КЛЮЧОВІ СЛОВА

задача теплопровідності, критична температура сталі, вогнезахисна здатність, межа вогнестійкості, сталева конструкція, стандартизовані методи.

### АНОТАЦІЯ

Наведено результати визначення характеристики вогнезахисної здатності вогнезахисту для несучих сталевих конструкцій з вермикуліто-цементної плити «Ендотерм 210104» стандартизованими методами, наведеними в ДСТУ Б В.1.1-17. Показано, що велика частина значень мінімальної товщини цього вогнезахисту, отриманих методом числової регресії і методами, в яких використовується спрощене рівняння теплопровідності, перевищує величини, отримані методом, в якому використовується уточнене рівняння теплопровідності. При цьому найбільше відхилення товщини вогнезахисту від значень, отриманих методом, в якому використовується уточнене рівняння теплопровідності, має місце при використанні методу числової регресії. Для методів, в яких використовується спрощене рівняння теплопровідності, це відхилення значно менше, ніж для методу числової регресії.