

канд. техн. наук **Ковалев А.И./ Kovalev A.I., Ph.D.**¹
Зобенко Н.В. / Zobenko N.V.¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 03.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 16.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Исследование точности определения параметров огнезащитных покрытий металлических конструкций¹

Testing the Accuracy of Designating the Parameters of Intumescent Coatings of Metal Constructions

Badanie dokładności określenia parametrów powłok ogniochronnych konstrukcji metalowych

АННОТАЦИЯ

Цель: Определить влияние количества и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности стальной пластины с исследуемым огнезащитным покрытием на водной основе на точность определения теплофизических и огнезащитных характеристик этого покрытия.

Методы: Для определения предела огнестойкости стальных пластин с огнезащитным покрытием на водной основе использованы экспериментальные методы исследования поведения образцов при нагревании, регламентированные требованиями ДСТУ Б В.1.1-4-98 и ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010; использовано математическое и компьютерное моделирование процессов нестационарного теплообмена в системе «стальная пластина – вспучивающееся огнезащитное покрытие»; определение теплофизических характеристик исследуемого огнезащитного покрытия.

Результаты: Проведены огневые испытания двух стальных пластин, покрытых вспучивающимся при нагревании огнезащитным составом на водной основе, в условиях стандартного температурного режима пожара. Получены зависимости эффективного коэффициента теплопроводности огнезащитного покрытия от температуры при ее измерении в разных точках стальной пластины и в разных комбинациях (по показаниям одной, двух и трех термопар).

Выводы: на основе проведенных огневых испытаний стальной пластины (толщина 5 мм), покрытой с одной стороны вспучивающимся огнезащитным составом на водной основе, толщиной 0,51 мм в условиях нагрева в огневой печи при стандартном температурном режиме пожара, исследовано влияние количества и месторасположения термопар на точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия.

Установлено, что количество и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности металлической пластины, влияет на точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия. Наибольшая точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия наблюдается при использовании данных температурных измерений по показателям трех термопар (критерий среднеквадратичного отклонения составил 5,8 °C). Дальнейшее увеличение количества термопар, установленных с необогреваемой поверхности стальной пластины, не привело к уменьшению критерия среднеквадратичного отклонения.

Ключевые слова: термопара, огнезащитное покрытие, теплофизические характеристики, характеристика огнезащитной способности, огневые испытания

Вид статьи: оригинальная научная статья

ABSTRACT

Goal: Determine the effect of the number and distribution of thermal couples on the cool-touch surface of a steel plate with a tested water film on the accuracy of designating thermophysical and fire protection characteristics of this coating.

Methods: In order to determine fire resistance class of the steel plates with fire protection water film, experimental methods were used to observe the reaction of the samples during heating, regulated by the requirements of B.V. 1.1.-4-98 and NPBV 1.1-29:2010. Mathematical and computer modelling of processes of unsteady heat transfer in the system “steel plate – intumescent coating” were used. Thermal properties of tested intumescent coating were determined.

Results: Fire tests of two steel plates coated with a water film, which swells during heating, were carried out under standard temperature conditions occurring during a fire. The dependences of the effective heat conductivity coefficient of intumescent coating were obtained during its changes at different points of the steel plate and in various combinations (according to indications of one, two and three thermal couples).

² Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, Черкассы / Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy; naucovec@ukr.net;

Conclusions: On the basis of the conducted fire tests of a steel plate (5 mm in thickness), coated on one side by intumescent water-based composition, of 0,52 mm in thickness, consisting of heating the plate in an oven at temperatures which are characteristic for fires, the effect of the number and location of thermal couples on the accuracy of thermophysical properties of intumescent coating was tested.

It was determined that the number and location of thermal couples on the cool-touch surface of a plate affect the accuracy of determining thermophysical properties of intumescent coating. The highest accuracy in determining thermophysical properties of intumescent coating is observed while using data from temperature changes according to the indications of the three thermal couples (criterion of standard deviation was 5.8°C). Increasing the number of thermal couples, placed on the unheated surface of steel plate did not result in the decrease of the deviation criterion.

Keywords: thermal couple, fire-retardant coating, thermophysical properties, the property of fireproof capability, fire tests

Type of article: original scientific article

АБСТРАКТ

Цель: Определение влияния числа и размещения термодатчиков на нienagzewajęcej się поверхности плиты стальной с badaną wodną powłoką ogniochronną на dokładność wyznaczenia termofizycznych i ogniochronnych cech tej powłoki.

Metody: W celu określenia klasy odporności ogniowej płytek stalowych z wodną powłoką ogniochronną wykorzystano metody eksperymentalne zachowania się próbek podczas nagrzewania, regulowane wymaganiami standardów DSTU B V.1.1.1-4-98 i DSTU-N-P B V1.1.-29:2010. Wykorzystano matematyczne i komputerowe modelowanie procesów niestacjonarnej wymiany ciepła w systemie płytka stalowa – pęczniejąca powłoka ogniochronna. Określono termofizyczne właściwości badanej powłoki ogniochronnej.

Wyniki: Badania ogniowe dwóch płytek stalowych pokrytych wodną powłoką, pęczniejącą podczas nagrzewania, przeprowadzone zostały w warunkach standardowych temperatur występujących podczas pożaru. Otrzymano zależności efektywnego współczynnika przewodnictwa cieplnego powłoki ogniochronnej i temperatury podczas jej pomiarów w różnych punktach płytki stalowej i w różnych kombinacjach (według wskazań jednej, dwóch i trzech termopar).

Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań ogniowych stalowej płytki (o grubości 5 mm), pokrytej z jednej strony pęczniejącą wodną powłoką ogniochronną o grubości 0,52 mm, polegających na nagrzewaniu płytki w piecu w temperaturach charakterystycznych dla pożarów, zbadano wpływ liczby i lokalizacji termopar na dokładność określenia termofizycznych właściwości powłoki ogniochronnej.

Stwierdzono, że liczba i lokalizacja termopar na nienagzewanej powierzchni płytki wpływa na dokładność określenia właściwości termofizycznych powłoki ogniochronnej. Największą dokładność przy określeniu termofizycznych właściwości powłoki ogniochronnej obserwuje się przy wykorzystaniu danych z pomiarów temperatury według wskazań trzech termopar (kryterium odchylenia standardowego wynosiło 5,8°C). Zwiększenie liczby termopar, umieszczanych w nienagzewanej powierzchni stalowej płytki, nie prowadziło do zmniejszenia kryterium odchylenia.

Słowa kluczowe: termopara, powłoka ogniochronna, właściwości termofizyczne, właściwości ogniochronne, badania ogniowe

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Введение

Как известно, металлы обладают высокой чувствительностью к высоким температурам. Они быстро нагреваются и снижают прочностные свойства [1]. Поэтому для широкого применения таких конструкций нужно использовать огнезащиту, которая представляет собой облицовку, оштукатуривание, использование огнезащитных покрытий и многое другое. Испытания металлических конструкций с системой огнезащиты проводятся согласно [2], суть которого состоит в создании температурного режима в печи, регламентированного [3], при тепловом воздействии на опытный образец и определении времени от начала теплового воздействия до наступления предельного состояния для опытного образца, когда достигается критическая температура с необогреваемой поверхности (в нашем случае принимали 500°C).

2. Методы

По вышеупомянутой методике [2] для определения огнезащитной способности покрытия было спланировано и проведено огневые испытания двух пластин из стали Ст. 3, размерами 500 мм × 500 мм × 5 мм с нанесенным огнезащитным составом, вспучивающегося типа «Amotherm Steel Wb» на водной основе, средней толщиной 0,51 мм, измеренной в 9 точках (рис. 1). Механизм действия таких веществ заключается в том, что при высокотемпературном воздействии за счет фазовых физико-химических процессов в структуре покрытия толщина вспучивающегося слоя увеличивается в десятки раз, т.е. образуется «шуба» с низким значением коэффициента теплопроводности, которая замедляет бы-

стрый прогрев стальных конструкций в течение 0,75 часа и более в зависимости от толщины нанесенного слоя.

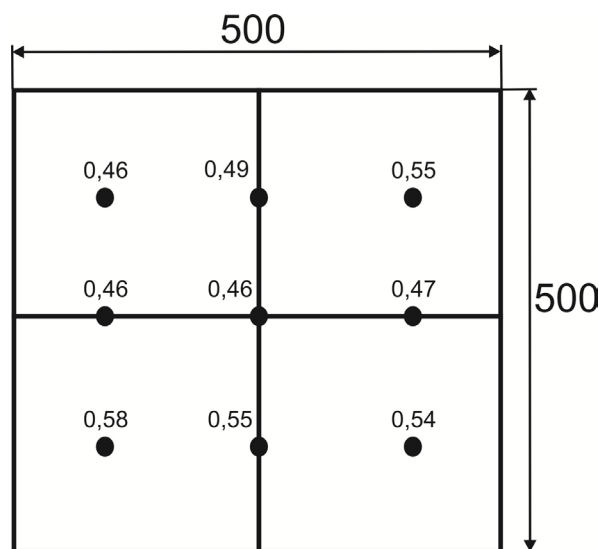


Рис. 1. Схема измерения толщины огнезащитного покрытия
Fig. 1. Scheme of thickness measurement of fire retardant coating

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

На обогреваемую поверхность стальной пластины перед нанесением огнезащитного вещества был нанесен слой грунтовки ГФ-021, толщиной 0,065 мм. Вещество наносилось механизированным способом агрегатом без-

воздушного распыления в соответствии с регламентом работ по огнезащите.

Для измерения средней и максимальной температуры с необогреваемой поверхности металлической пластины были установлены 3 термопары типа ТХА (рис. 2) с диаметром проволоки 0,5 мм (Т1-Т3), одна термопара (Т2) в центре образца и две (Т1, Т3) на расстоянии 100 мм от краев стальной пластины. Спаи термопар были зачеканены в металл на глубину 2 мм и прикреплены теплоизоляционным материалом. С необогреваемой поверхности пластина была защищена двумя слоями мулитокремнезёмового фетра, толщиной 20 мм, и плитой минеральной ваты, плотностью 75 кг/м³ и толщиной 50 мм.

Суть испытания заключалась в создании стандартного температурного режима в печи [3], во время теплового воздействия на опытный образец и определении времени от начала теплового воздействия до достижения температуры 500°C с необогреваемой поверхности стальной пластины.

3. Цель работы

Целью работы было определить влияние количества и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности стальной пластины с исследуемым огнезащитным покрытием на точность определения теплофизических и огнезащитных характеристик этого покрытия.

4. Результаты

В результате проведенных испытаний получены температуры с необогреваемой поверхности стальной пластины с огнезащитным покрытием на водной основе, которые далее использовались для определения теплофизических характеристик (ТФХ) исследуемого покрытия, решением обратных задач теплопроводности (ОЗТ) (рис. 3).

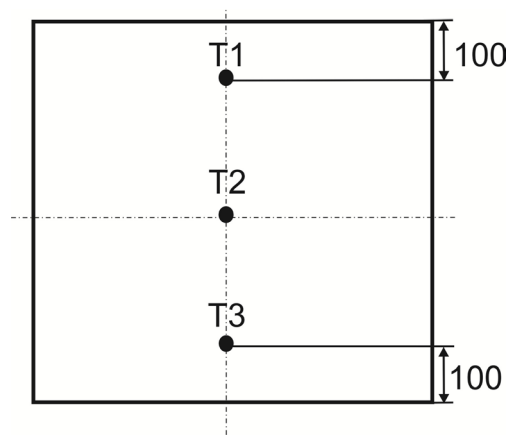


Рис. 2. Схема размещения термопар с необогреваемой поверхности стальной пластины
Fig. 2. Scheme of distribution of thermal couples on the cool-touch surface of steel plate

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

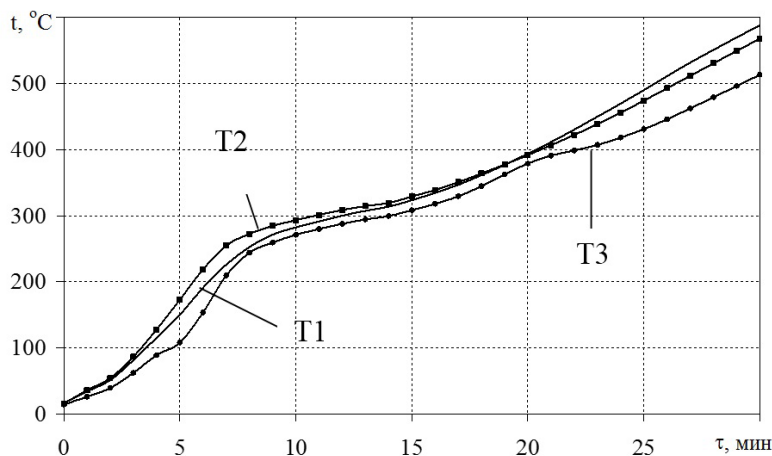


Рис. 3. Зависимость температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности стальной пластины с огнезащитным покрытием: Т1 – термопара, установленная на расстоянии 100 мм от верхнего края пластины; Т2 – термопара, установленная по центру пластины; Т3 – термопара, установленная на расстоянии 100 мм от нижнего края пластины.

Fig. 3. Temperature-time relationship of fire influence on the cool-touch surface of steel plate with the fire retardant coating: T1 – the thermal couple, set in the distance of 100 mm from the upper edge of a plate; T2 – the thermal couple on the center of a plate; T3 – the thermal couple set in the distance of 100 mm from the lower edge of a plate

На основе разработанной ранее физической модели, представляющую собой систему из двух слоев: металл и огнезащитное покрытие, определили ТФХ покрытия по 1 термопаре в каждом месте расположения (Т1, Т2, Т3) (рис. 4).

Как видно из рис. 4, значение эффективного коэффициента теплопроводности покрытия от начальной температуры до 500°C сильно отличаются друг от друга, что авторы объясняют двумя факторами: неоднородностью теплового потока, воздействующего на стальную пластину, и в связи с этим, неоднородностью прогрева разных частей стальной пластины, либо неоднородностью толщины покрытия в разных местах измерения температуры. Все это указывает на невозможность определения ТФХ покрытия только по показателю одной термопары, вследствие больших погрешностей в значении эффективного коэффициента теплопроводности, которое приводит к погрешностям при определении характеристики огнезащитной способности (ХОС) исследуемого покрытия.

Поэтому дальнейшие исследования были направлены на определение ТФХ покрытия по значениям двух термопар в разных комбинациях: Т1-Т2, Т2-Т3, Т1-Т3.

В результате были получены зависимости эффективного коэффициента теплопроводности исследуемого покрытия от температуры для указанных комбинаций (рис. 5).

Как видно из рис. 5, кривая эффективного коэффициента теплопроводности покрытия, найденного решением ОЗТ по показателям двух термопар Т2-Т3 и Т1-Т3 практически совпадают, а по показателям термопар Т2-Т1 от начальной температуры до 100°C отличается, что может объясняться большим прогревом верхней части металлической пластины из-за эффекта «сползания» покрытия в ходе испытания и появления оголенной поверхности металла [4].

На рис. 6 представлены расчетные и экспериментальные температуры с необогреваемой поверхности пластины, где наблюдается удовлетворительное их совпадение и для которых критерий среднеквадратического отклонения составил: для Т2-Т3 – 6,3°C, Т1-Т3 – 6,7°C, Т2-Т1 – 14,3°C.

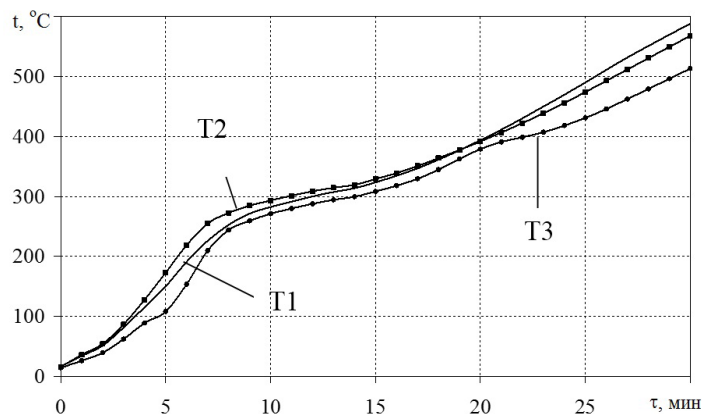


Рис. 4. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности исследуемого покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ: Т1 – по показателю термопары, расположенной на расстоянии 100 мм от верхнего края пластины; Т2 – по показателю термопары, расположенной в центре пластины; Т3 – по показателю термопары, расположенной на расстоянии 100 мм от нижнего края пластины.

Fig. 4. Relationship between the effective heat conductivity coefficient of the researched coating and the temperature, determined by solving the inverse heat conduction problem, T1 – according to the index of the thermal couple, located at a distance of 100 mm from the upper edge of a plate; T2 – according to the index of the thermal couple located in the center of plate; T3 – according to the index of the thermal couple located at a distance of 100 mm from the lower edge of plate

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

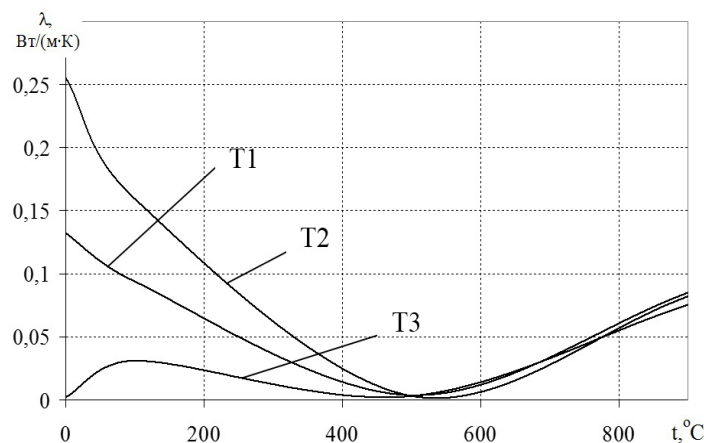


Рис. 5. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ по показателям двух термопар в разных комбинациях

Fig. 5. Relationship between the effective heat conductivity coefficient of a coating and the temperature, determined by solving the inverse heat conduction problem according to the indexes of two thermal couples in different combinations

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

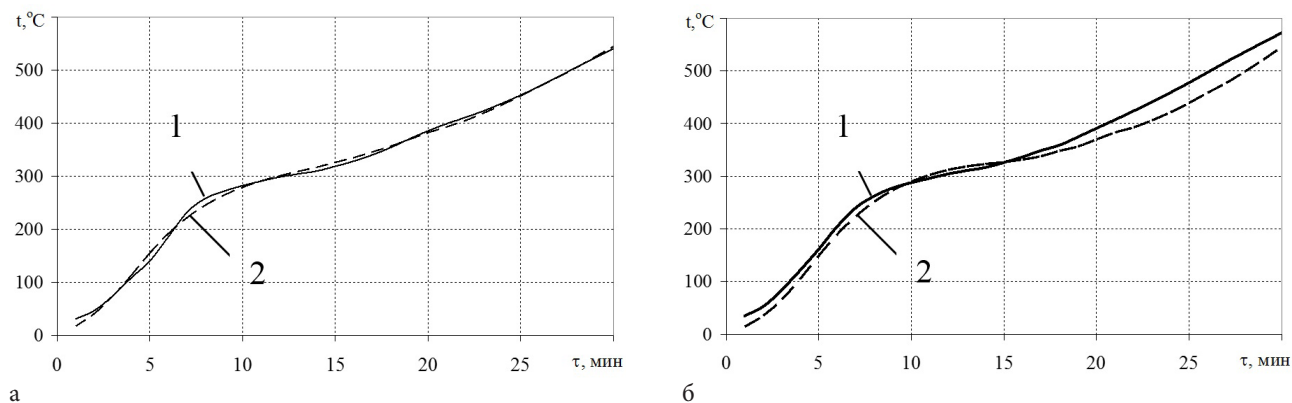


Рис. 6. Зависимость температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности образца с покрытием (а – для комбинаций термопар T2-T3 и T1-T3; б – для комбинаций термопар T2-T1): 1 – полученная по результатам испытаний на огнестойкость 2 – расчетная кривая, полученная решением ОЗТ.

Fig. 6. Temperature-time relationship of fire influence on the cool-touch surface of steel plate with the fire retardant coating: (а – for combinations of thermal couples of T2-T3 and T1-T3; б – for combinations of thermal couples of T2-T1): 1 – obtained by the results of fire-resistance tests, 2 – is a calculated curve, determined by the solving inverse heat conduction problem

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

При этом максимальное расхождение расчетных и экспериментальных значений температуры (рис. 6,а) составило около 3 %, а на рис. 6, б – 8 %.

Поэтому в дальнейшем для определения ТФХ покрытия использовали показатели трех термопар, установленных с необогреваемой поверхности стальной пластины (рис. 7).

Как видно из рис. 7, в диапазоне температур от начальной температуры до примерно 500°C значение коэффициента теплопроводности покрытия линейно падает и проходит через минимальное значение 0,003 Вт/м·К (при температуре 500°C), что можно объяснить физико-химическими процессами, протекающими в покрытии: вспучивание покрытия и увеличение его пористости. Рост коэффициента теплопроводности в диапазоне температур от 500°C до 800°C, вероятней всего, объясняется появлением радиационной составляющей в порах покрытия в сочетании с его высокотемпературной усадкой и обугливанием. Постоянное значение удельной объемной теплоемкости составило $C_v = 1 \times 10^5$ Дж/м³·К.

При этом наблюдалась наибольшая сходимость экспериментальных и расчетных температур, а критерий среднеквадратичного отклонения составил 5,8°C.

Дальнейшее увеличение количества термопар, установленных с необогреваемой поверхности металлической пластины, не привело к уменьшению критерия среднеквадратичного отклонения.

5. Выводы

1. На основе проведенных огневых испытаний стальной пластины (толщина 5 мм), покрытой с одной стороны вспучивающимся огнезащитным составом на водной основе, толщиной 0,51 мм в условиях нагрева в огневой печи при стандартном температурном режиме пожара, исследовано влияние количества и месторасположения термопар на точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия.

2. Установлено, что количество и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности металлической пластины, влияет на точность определения теплофизи-

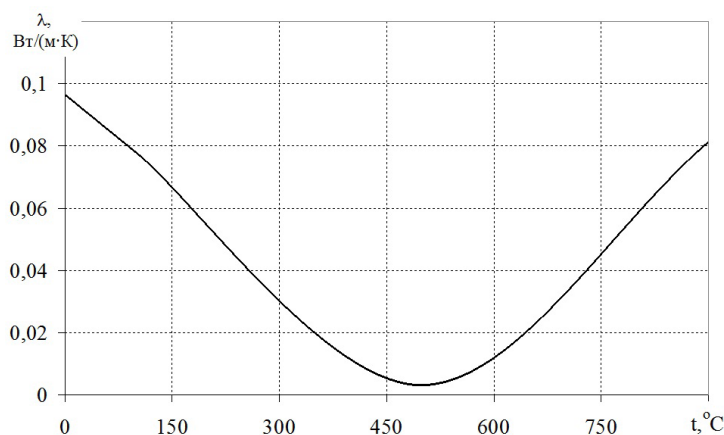


Рис. 7. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ, по показателям трех термопар.

Fig. 7. Relationship between effective heat conductivity coefficient of the coating and the temperature determined by solving the inverse heat conduction problem, according to the indexes of three thermal couples

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

ческих характеристик огнезащитного покрытия. Наибольшая точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия наблюдается при использовании данных температурных измерений по показателям трех термопар (критерий среднеквадратичного отклонения составил 5,8°C).

3. Доказана эффективность вспучивающегося огнезащитного покрытия на водной основе и установлена зависимость коэффициента его теплопроводности от температуры в условиях нагрева в испытательной печи стальной пластины с этим покрытием при стандартном температурном режиме пожара.

6. Перспективы дальнейших исследований

Дальнейшие работы будут направлены на исследование особенностей влияния температурных режимов пожара и теплофизических характеристик огнезащитных покрытий на значение предела огнестойкости металлических конструкций с огнезащитными покрытиями.

Литература

- [1] *Primenenie sredstv ognезashchity dlya metallicheskih konstruksiy. Uchebno-metod. Posobie*, UrI GPS MChS Rossii, Ekaterinburg 2009, 61.
- [2] *Zahist vid pozhezhi. Vognезahisne obroblyannya budivelnih konstruksiy. Zagalni vimogy ta metody kontrolyuvannya: DSTU-N-P B V.1.1-29:2010*. – [Chinniy vid 2011-11-01]. – K. : Minregionbud Ukrayiny, 2011. – 9 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
- [3] *Zakhist vid pozhezhi. Budivelni konstrukcii. Metody vyprovuvannia na vognestiikist. Zakhalni vymohy (ISO 834:1975): DSTU B V.1.1-4-98*. – [Chynnyi vid 1998-10-28], K. : Ukrarkhbudynform, 1999, s. 21 (Derzhavnii standart Ukrainy).
- [4] *Bazhenov S.V., Naumov Ju.V., Vlijanie neodnorodnosti tolshhiny vspuchivajushhegosja pokrytija dlja metallicheskih konstruksij na ognезashhitnuju jeffektivnost' s uchetom deformacii koksovogo sloja pri teplovom vozdeystvii (uslovija pozhara)*, „Pozharnaja bezopasnost” 2004, 6, 57–62.
- [5] *Boris O.P., Polovko A.P., Yuzkiv T.B., Ekspres-metodyka otciniuvannia vognезakhisnoi zdatnosti vognезakhisnikh materialiv*, „Naukovyi visnyk UkrNDIPB” 26(2), 95-99.

* * *

Ковалев Андрей Иванович – в 2002 году закончил Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля МВД Украины. Работал на различных должностях: инспектор государственного пожарного надзора, начальник караула, преподаватель, доцент, ведущий научный сотрудник, начальник отдела, начальник факультета. С 2012 года кандидат технических наук по специальности пожарная безопасность. Ученое звание – старший научный сотрудник с 2013 года. Более 60 научных трудов в отрасли пожарной безопасности.

Зобенко Наталия Васильевна – старший преподаватель-методист факультета гражданской защиты и управления Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля.