

канд. техн. наук **КОВАЛЁВ А.И. / KOVALEV A.I., Ph.D.¹**
ДАШКОВСКИЙ В.Ю. / DASHKOVSKII V.Iu.¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 28.02.2014;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 28.07.2014;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2014;

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЯ „AMOTHERM STEEL Wb” ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ РАСЧЕТНО- ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ²

**Research of the Fireproof Capability of “Amotherm Steel Wb” Coating for
Metal Constructions Protection Using an Experiment-Calculation Method**

**Badanie z wykorzystaniem metody obliczeniowo-eksperymentalnej właściwości
ogniochronnych powłoki „Amotherm Steel WB” dla zabezpieczenia konstrukcji
metalowych**

Аннотация

Цель: Определение характеристики огнезащитной способности огнезащитного покрытия „Amotherm Steel Wb” расчетно-экспериментальным методом решением обратных задач теплопроводности на основе данных огневых испытаний.

Методы: Для определения предела огнестойкости металлических пластин с огнезащитным покрытием использованы экспериментальные методы исследования поведения образцов при нагревании, регламентированных требованиями ДСТУ Б В.1.1-4-98 и ДСТУ-Н-П Б В.1.1–29:2010; математическое и компьютерное моделирование процессов нестационарного теплообмена в системе «металлическая пластина – вспучивающееся огнезащитное покрытие»; определение теплофизических характеристик и характеристики огнезащитной способности исследуемого покрытия.

Результаты: Проведены огневые испытания металлических пластин, покрытых огнезащитным составом „Amotherm Steel Wb”, в условиях стандартного температурного режима. На основе полученных данных (температуры с необогреваемой поверхности пластины), решением обратных задач теплопроводности определены теплофизические характеристики образованного огнезащитного покрытия, которые зависят от температуры, и характеристику огнезащитной способности исследуемого покрытия для предела огнестойкости металлической конструкции 30 мин.

Выводы: Доказана эффективность вспучивающегося огнезащитного покрытия „Amotherm Steel Wb” и установлена зависимость коэффициента его теплопроводности от температуры в условиях нагрева в испытательной печи металлической пластины с этим покрытием при стандартном температурном режиме. При этом выявлено, что в диапазоне температур от 0°C до 500°C значение коэффициента теплопроводности покрытия падает на порядок по сравнению с исходным значением, и проходит через минимальное экстремальное значение 0,003 Вт/м·К (при температуре 500°C), что объясняется вспучиванием покрытия и увеличением его пористости, а дальше линейно возрастает до начального значения, что объясняется появлением радиационной составляющей в порах покрытия в сочетании с его высокотемпературной усадкой и обугливанием. Выявлена взаимосвязь между толщиной вспучивающегося огнезащитного покрытия „Amotherm Steel Wb” и огнестойкостью металлических конструкций, а также рассчитаны необходимые минимальные толщины такого покрытия от толщины металлической пластины для обеспечения значения предела огнестойкости 30 минут.

Ключевые слова: огнезащитная способность, огнезащитное покрытие, расчетно-экспериментальный метод, теплофизические характеристики

Вид статьи: оригинальная научная статья

¹ Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля; Украина, Черкассы, ул. Оноприенко 8; электронная почта: naucoes@ukr.net / Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy, Ukraine;

² Вклад в статью / Percentage contribution: Kovalev – 80%, Dashkovskii – 20%;

Abstract

Purpose: To examine the fireproof capability of a fire-retardant coating (“Amotherm Steel Wb”), using an experiment-calculation approach to address inverse heat conduction problems during fire tests.

Methods: Application of experimental research methods to samples, in accordance with the requirements of National Standards of Ukraine B.V. 1.1.-4-98 and N-P B V.11-29:2010, to examine the behaviour of samples which are exposed to a heating process. Utilising mathematical and computer modelling techniques to processes involving unsteady heat transfer in a procedure “Metal plate – Intumescent Fire Retardant Coating”, to determine thermal characteristics and fireproof capability of examined coating.

Results: Fire tests of metal sheets covered by the flame retardant “Amotherm Steel Wb” were performed in standard temperature conditions. Based on derived data (temperature from the unheated sheet surface), with the aid of a solution to the problem of inverse heat conduction, the thermal characteristics of a created fire-retardant coating were determined. The formation of a protective screen depends on temperature levels. The level of protection against fire for a sample metal construction R30 was 30 minutes.

Conclusions: The effectiveness of an intumescent coating “Amotherm Steel Wb” was verified. Research revealed a dependence relationship between the heat conduction coefficient and temperature of the metal sheet covered with this coating during heating in the experimental oven at standard temperature conditions. Additionally, it was discovered that within the temperature range from 0°C to 500°C the value of heat conductivity coefficient of coating decreases, compared with the exit value, and achieves the lowest value of 0.003 W/mK (at the temperature of 500°C). This may be explained by bulging of the coating and its increased porosity. Furthermore, the heat conductivity coefficient growth to the initial value adopts a linear pattern which explains the appearance of radioactive elements in the coating pores attributable to high temperature shrinkage and charring. A dependence relationship was identified between the thickness of intumescent coating “Amotherm Steel Wb” and fire-retarding quality of metal constructions. Additionally, the required minimal thickness of the fire retardant covering was calculated to ensure fire resistance parameters for 30 minutes. The required thickness of covering is dependent on the thickness of the metal plate.

Keywords: fireproof capability, fire-retardant coating, experiment-calculation method, thermal characteristics

Type of article: original scientific article

Abstrakt

Cel: Określenie charakterystyki zdolności do zabezpieczenia przed ogniem powłoki ogniochronnej „Amotherm Steel Wb” z wykorzystaniem obliczeniowo-eksperymentalnej metody rozwiązania odwrotnych zadań przewodzenia ciepła na podstawie danych testów ogniowych.

Metody: W celu określenia stopnia odporności ogniowej płyt metalowych pokrytych powłoką ogniochronną wykorzystano eksperymentalne metody badań zachowania się, reglamentowanych wymogami ДСТУ Б В.1.1-4-98 и ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010, próbek podczas ich nagrzewania; matematyczne i komputerowe modelowanie procesów niestacjonarnej wymiany ciepła w systemie „płyta metalowa – pęczniająca powłoka ogniochronna”; określenie termofizycznych charakterystyk oraz charakterystyki zdolności ogniochronnej badanej powłoki.

Wyniki: Przeprowadzono testy ogniowe płyt metalowych pokrytych mieszaniną ogniochronną „Amotherm Steel Wb” w standardowych warunkach termicznych. Na podstawie otrzymanych danych (temperatury nieogrzewanej powierzchni płyty), z wykorzystaniem rozwiązania zagadnienia odwrotnego przewodzenia ciepła, określono właściwości termofizyczne powstałej powłoki ogniochronnej, które zależą od temperatury. Opisano charakterystykę zdolności ogniochronnej badanej powłoki dla stopnia odporności ogniowej konstrukcji metalowej wynoszącej 30 minut.

Wnioski: Udowodniona została skuteczność pęczniającej powłoki ogniochronnej „Amotherm Steel Wb” i wykazana została zależność współczynnika przewodzenia przez nią ciepła od temperatury nagrzewanej w piecu eksperymentalnym metalowej płyty pokrytej tego rodzaju powłoką przy standardowych warunkach termicznych. Dodatkowo zauważono, iż w przedziale temperatur od 0°C do 500°C wartość współczynnika przewodzenia ciepła powłoki obniża się w porównaniu z wartością wyjściową i osiąga najniższą wartość 0,003 W/mK (przy temperaturze 500°C), co może być wyjaśnione pęcznieniem powłoki i zwiększeniem jej porowatości, a następnie dalej liniowo rośnie do wartości początkowej, co może wyjaśniać pojawienie się składowej radiacyjnej w porach powłoki w połączeniu z jej kurczeniem się i zwęglaniem przy wysokiej temperaturze. Odkryto zależność między grubością pęczniającej powłoki ogniochronnej „Amotherm Steel Wb” i odpornością ogniową konstrukcji metalowych, a także obliczono konieczną minimalną grubość takiej powłoki w zależności od grubości płyty metalowej w celu zapewnienia parametru odporności ogniowej na poziomie 30 minut.

Słowa kluczowe: zdolność ogniochronna, powłoka ogniochronna, metoda obliczeniowo-eksperymentalna, właściwości termofizyczne
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Постановка проблемы

Металлические конструкции широко используются в строительстве, но при этом обладают низким пределом огнестойкости, что ограничивает использование таких конструкций в зданиях и сооружениях с повышенными требованиями к их огнестойкости. Поэтому, повышение огнестойкости металлических конструкций за счет нанесения огнезащитных веществ, образующих покрытия на защищаемой поверхности, и исследование огнезащитной способности таких покрытий является актуальной научно-технической задачей и целью данной работы.

2. Анализ последних достижений и публикаций

Среди многообразия огнезащитных веществ, особое место занимают те, которые под действием температуры вспучиваются, образуя слой пористого покрытия, обладающего хорошими теплоизоляционными свойствами. Вопросам исследования огнезащитной способности покрытий уделено большое количество работ [1, 2], в которых оценку огнезащитной способности покрытий проводят с помощью экспериментального метода, что наряду с преимуществами, большое количество недостатков: удается опреде-

лить предел огнестойкости конструкции только с одной толщиной покрытия.

3. Постановка задачи и ее решение

Поэтому, для определения огнезащитной способности покрытий металлических конструкций предлагается использовать расчетно-экспериментальный метод (РЭМ), хорошо зарекомендовавший себя во многих работах [3-7], и является более экономичным и точным по сравнению с экспериментальным и расчетным методами соответственно.

4. Изложение основного материала

РЭМ определяется как совокупность экспериментальных и расчетных процедур, позволяющих определять необходимые характеристики исследуемого объекта (рис. 1), в частности зависимость толщины покрытия от толщины (приведенной толщины) металла для нормированных значений предела огнестойкости конструкции.



Рис. 1. Алгоритм (схема) применения расчетно-экспериментального метода определения огнезащитной способности покрытий

Fig. 1. Scheme illustrating the application of experiment-calculation method for determining fireproof capability of coatings

Источник: Собственное исследование
Source: Own elaboration.

Согласно алгоритму, изображенному на рис. 1, были подготовлены и проведены огневые испытания двух металлических пластин, размерами $500 \times 500 \times 5$ мм с нанесенным вспучивающимся огнезащитным составом „Amotherm Steel Wb” на водной основе. Для нанесения применялась краска белого цвета с высокой плотностью, равной $1200-1300 \text{ кг/м}^3$, на основе виниловых полимеров в водной дисперсии и специальных реагентов. После нанесения краски на пластине образовалась белая матовая поверхность (рис. 2).

На обогреваемую поверхность металлической пластины перед нанесением огнезащитного вещества был нанесен слой грунтовки ГФ-021, толщиной $0,065$ мм. Вещество наносилось механизированным способом агрегатом безвоздушного распыления в соответствии с регламентом работ по огнезащите [8]. Для измерения толщины образованного огнезащитного покрытия использовали толщиномер, которым было осуществлено измерения в 9 точках (рис. 3), средняя толщина составила $0,507$ мм.



Рис. 2. Общий вид металлических пластин после нанесения огнезащитного вещества
Fig. 2. An overview of metal sheets after the fire-retardant agents application

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

Цифры на рис. 3 обозначают толщину покрытия в местах ее измерения.

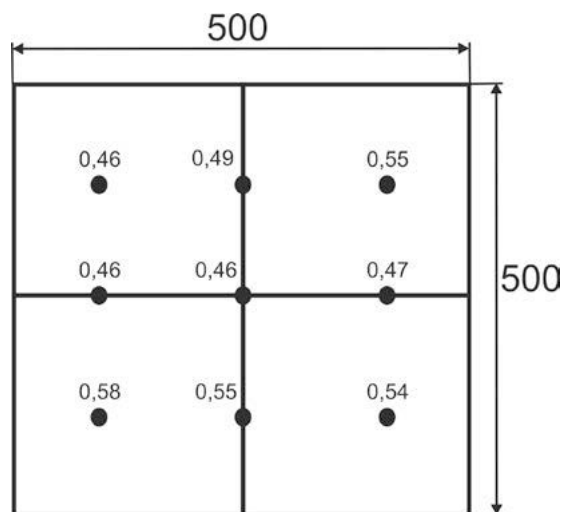


Рис. 3. Схема измерения толщины огнезащитного покрытия

Fig. 3. Scheme of fire-retardant coating thickness measurement

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

Для измерения средней и максимальной температуры на необогреваемой поверхности металлической пластины были установлены 3 термодары типа ТХА

(рис. 4) с диаметром проволоки 0,5 мм (Т1-Т3), одна термопара (Т2) в центре образца и две (Т1, Т3) на расстоянии 100 мм от краев пластины.

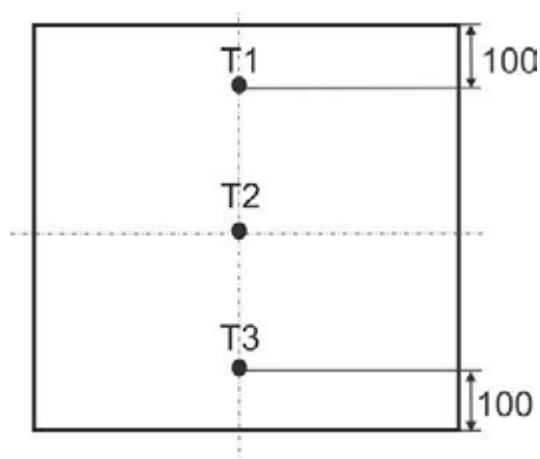


Рис. 4. Схема размещения термопар с необогреваемой поверхности металлической пластины

Fig. 4. Position of thermo-couples from unheated surface of metal sheet

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

С необогреваемой поверхности пластина была защищена двумя теплоизолирующими слоями, первый из которых толщиной 20 мм, второй – плитой минеральной ваты, плотностью 75 кг/м³ и толщиной 50 мм.

Суть испытания состояла в создании температурного режима в печи, регламентированного [9], при тепловом воздействии на опытный образец и определении времени от начала теплового воздействия до наступления предельного состояния для опытного образца, когда достигается температура 500°C с необогреваемой поверхности.

Испытания проводились при температуре воздуха 2°C, относительной влажности воздуха 68% и давлении 754 мм. рт. ст.

Испытания образцов проводились в условиях, близких к стандартному температурному режиму в течение 30 минут (рис. 5).

После испытаний при визуальном осмотре образцов установлено (рис. 6):

- огнезащитное вещество (на примере „Amotherm Steel Wb”), нанесенное на металлическую пластину, размерами 500×500×5 мм с грунтовкой ГФ-021,

имеет удовлетворительную адгезионную прочность;

- отслоение образованного покрытия от опытного образца по площади не наблюдалось;
- средняя толщина вспученного слоя после испытанной составила 12 мм (11-14 мм).

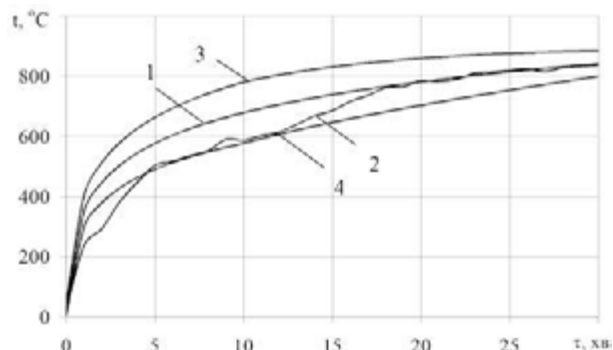


Рис. 5. Зависимость температуры в печи от времени огневого воздействия на обогреваемой поверхности металлической пластины с огнезащитным покрытием:

1 – кривая стандартного температурного режима, кривая 2 – реальная кривая изменения температуры в печи, 3 – допустимые при испытаниях максимальные значения температуры в печи, 4 – допустимые при испытаниях минимальные значения температуры в печи.

Fig. 5. Dependence between temperature in the furnace and time of fire exposure to the surface of metal sheet with fire-retardant coating: 1 – curved line of temperature specifications, curved line 2 –practicable temperature curve in stove, 3 – permitted maximum value of temperature in stove on trials, 4 – permitted minimum value of temperature in stove on trials

Источник: Собственное исследование.

Source: Own elaboration.



Рис. 6. Общий вид образца после испытаний

Fig. 6. A sample overview after tests

Источник: Собственное исследование.

Source: Own elaboration.

На рис. 7 представлены графики изменения температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности металлической пластины.

Как видно из рис. 7, динамика прогрева металлической пластины в разных частях измерения температуры совпадает. Различия в скорости прогрева могут объясняться неоднородностью толщины огнезащитного покрытия (рис. 3) или эффектом сползания с металлической пластины верхнего слоя огнезащитного

покрытия при повышении температуры. Из рисунка видно, что больше всего прогревается верхняя часть металлической пластины в месте установки термопары T1. Но для тепловых расчетов принимали среднее значение показаний трех термопар, установленных с необогреваемой поверхности.

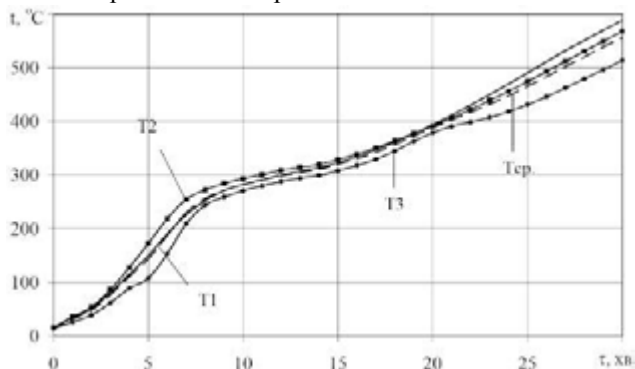


Рис. 7. Зависимость температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности металлической пластины с огнезащитным покрытием „Amotherm Steel Wb”: T1 – термопара, установленная на расстоянии 100 мм от верхнего края пластины; T2 – термопара, установленная по центру пластины; T3 – термопара, установленная на расстоянии 100 мм от нижнего края пластины; Tср. – среднее значение показателей термопар.

Fig. 7. Temperature-time relationship of fire effect on unheated surface of metal sheet with fire-retardant coating “Amotherm Steel Wb”: T1 – thermal couple, placed at a distance of 100 mm from the upper end of the plate; T2 – thermal couple, placed at the centre of the plate; T3 – thermal couple, placed at a distance of 100 mm from lower end of plate; T av. – average value of thermal couple indexes

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

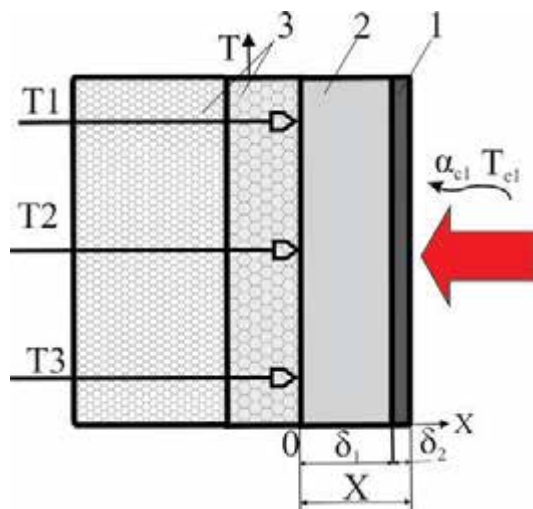


Рис. 8. Схема металлической пластины с огнезащитным покрытием в одномерной постановке: 1 – слой огнезащитного покрытия, толщиной δ_2 ; 2 – металлическая пластина, толщиной δ_1 ; 3 – слой теплоизоляции

Fig. 8. Scheme of metal sheet with fire-retardant coating in one-dimensional position: 1 – layer of fire-retardant coating, thickness δ_2 ; 2 – metal sheet, thickness δ_1 ; 3 – heat insulation layer

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

В соответствии с алгоритмом (рис. 1), была построена физическая модель (рис. 8), что включает в себя геометрию металлической пластины с огнезащитным покрытием и состоит из двух слоев толщиной δ_1 , δ_2 (рис. 9). Общая толщина пластины с огнезащитным покрытием $X = \delta_1 + \delta_2$.

При испытаниях на огнестойкость правая поверхность пластины ($x = X$) нагревается конвективно-радиационным теплообменом от горячих газов в печи с температурой T_{c1} , близкой к кривой стандартного пожара и коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{c1} = 25$ Вт/м²·К. Коэффициент излучения обогреваемой поверхности ОП $\epsilon = 0,85$. Левая необогреваемая поверхность ($x = 0$), охлаждается конвекцией и излучением в окружающую среду с температурой T_{c2} . Коэффициент теплоотдачи между необогреваемой поверхностью металлической пластины и окружающей средой α_{c2} принимается равным 7 Вт/(м²·К). Внутри пластины тепло передается теплопроводностью.

Математическая модель процесса теплопроводности в такой двухслойной системе, описывающая рассмотренную выше физическую модель (рис. 8), многократно описана в литературе [4, 7] и представляет собой одномерное уравнение теплопроводности с комбинацией лучистого теплообмена и граничными условиями 3-го рода на обогреваемой поверхности и граничными условиями 3-го рода на необогреваемой поверхности, учитывающие температуру окружающей среды и коэффициент теплоотдачи.

На основе экспериментальных данных (температуры с необогреваемой поверхности пластины), используя физическую и математическую модели теплового состояния образца, решением обратных задач теплопроводности (ОЗТ), были получены теплофизические характеристики (ТФХ) исследуемого покрытия: постоянное значение удельной объемной теплоемкости $C_v = 1 \times 10^5$ Дж/м³·К, а теплопроводность как функция от температуры (рис. 9).

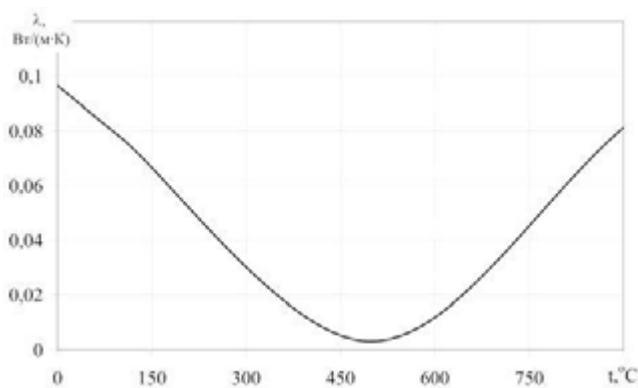


Рис. 9. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности покрытия „Amotherm Steel Wb” от температуры, найденного решением ОЗТ

Fig. 9. Dependence between the effective heat conductivity coefficient of coating “Amotherm Steel Wb” and temperature, found by solving the inverse heat conduction problems

Источник: Собственное исследование.

Source: Own elaboration.

Как видно из рис. 9, в диапазоне температур от начальной температуры до 500°C значение коэффициен-

та теплопроводности покрытия „Amotherm Steel Wb” падает и проходит через минимальное значение 0,003 Вт/м·К (при температуре 500°C), что можно объяснить вспучиванием покрытия и увеличением его пористости. Рост коэффициента теплопроводности в диапазоне температур от 500°C до 800°C, вероятно, объясняется появлением радиационной составляющей в порах покрытия в сочетании с его высокотемпературной усадкой и обугливанием.

На рис. 10 наблюдается удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных температур, для которых критерий среднеквадратического отклонения составляет 5,8°C, а максимальная расхождение расчетных и экспериментальных значений температуры составляет около 4,4%.

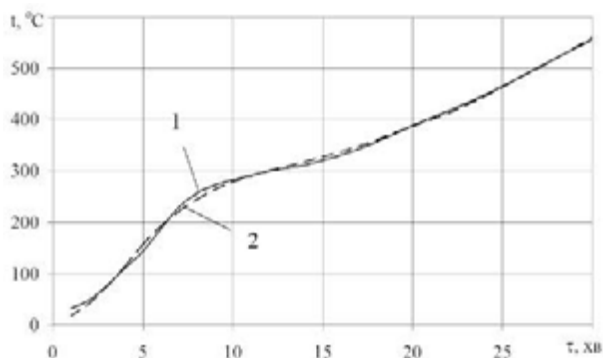


Рис. 10. Зависимость температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности образца с покрытием: 1 – полученная по результатам испытаний на огнестойкость 2 – расчетная кривая, полученная решением ОЗТ

Fig. 10. Temperature-time relationship of fire effect on unheated surface of pattern with coating: 1 – obtained according to results of fire-resistance tests, 2 – calculated curve, obtained by solving the inverse heat conduction problems

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

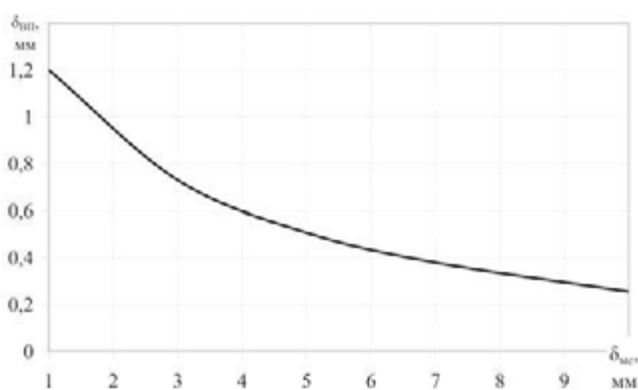


Рис. 11. Зависимость толщины огнезащитного покрытия «Amotherm Steel Wb» от толщины металлической пластины для значения предела огнестойкости 30 мин.

Fig. 11. Dependence between the thickness of fire-retardant coating „Amotherm Steel Wb” and thickness of metal sheet for 30 minute fire-resistance

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

На основе полученных ТФХ исследуемого покрытия (рис. 9), используя модели (рис. 8), решением серии прямых задач теплопроводности, определили характеристику огнезащитной способности покрытия „Amotherm Steel Wb” для значения предела огнестойкости металлических конструкций 30 мин (рис. 11).

5. Выводы

1. Приведены результаты огневых испытаний металлической пластины (толщина 5 мм), покрытой с одной стороны вспучивающимся огнезащитным составом (на примере „Amotherm Steel Wb”) в условиях нагрева в огневой печи при стандартном температурном режиме пожара.
2. По результатам огневых испытаний (температуры с необогреваемой поверхности металлической пластины) решением обратных задач теплопроводности найдены эффективный коэффициент теплопроводности и удельную объемную теплоемкость покрытия „Amotherm Steel Wb”.
3. Доказана эффективность вспучивающегося огнезащитного покрытия „Amotherm Steel Wb” и установлена зависимость коэффициента его теплопроводности от температуры в условиях нагрева в испытательной печи металлической пластины с этим покрытием при стандартном температурном режиме. При этом выявлено, что в диапазоне температур от 0 °C до 500 °C значение коэффициента теплопроводности падает на порядок по сравнению с исходным значением, и проходит через минимальное экстремальное значение 0,003 Вт/м·К (при температуре 500 °C), а дальше линейно возрастает до начального значения.
4. Выявлена взаимосвязь между толщиной вспучивающегося огнезащитного покрытия „Amotherm Steel Wb” и огнестойкостью металлических конструкций, а также рассчитаны необходимые минимальные толщины такого покрытия от толщины металлической пластины для обеспечения значения предела огнестойкости 30 минут.

Дальнейшие работы будут направлены на исследование влияния погрешностей в измерении температуры с необогреваемой поверхности металлической пластины на точность определения теплофизических характеристик и характеристики огнезащитной способности исследуемого покрытия.

Список литературы

1. Boris O.P., Polovko A.P., Iuzkiv T.B., *Ekspres-metodyka otciniuvannia vognzakhisnoi zdatnosti vognzakhisnikh materialiv*, „Naukovii visnik UkrNDIPB” Vol. 26, Issue 2, pp. 95-99.
2. Bazhenov S.V., Naumov Iu.V., *Vliianie neodnorodnosti tolshchiny vspuchivaiushchegosia pokrytiia dla metallicheskih konstrukcii na ogneshchitnuiu effektivnost s uchetom deformacii koksovogo sloia pri teplovom vozdeistvii (usloviia pozhara)*, „Pozharnaia bezopasnost”, Issue 6, 2004, pp. 57–62.
3. Krukovskii P.G., *Obratnye zadachi teplomassoperenosa (obshchij inzhenernyi podkhod*, Institut tekhnicheskoi teplofiziki NAN Ukrainy, Kiev, 1998, s. 218.

4. Kachkar E.V., *Obosnovanie parametrov trekhslonnykh peregorodok s mineralovatnymi plitami dla zdaniy i sooruzheniy s uchetom ikh ognestoikosti* : dis. ... kandidata tekhn. nauk : 21.06.02 / 2009., s. 157.
5. Novak S.V., *Matematicheskoe modelirovanie processov teploobmena v ognestoikikh konstrukciyakh: avtoref. diss. na soiskanie uchen. stepeni kand. tekhn. nauk: spec. 05.14.05 Teoreticheskaya teplotekhnika*, Karkov, 1996, s. 24.
6. Tsvirkun S.V., *Udoskonalennia metodu viznachennia vognnezahisnoi zdatnosti pokrytivyh metalivnykh konstrukcii: avtoref. dis. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spec. 21.06.02 „Pozhezhna bezpeka”*, Kiiiv, 2006, p. 20.
7. Kovalev A.I., *Usovershenstvovanie metoda otcenki ognenezashchitnoi sposobnosti pokrytii zhelezobetonnykh perekrytij: diss. ... kandidata tekhn. nauk : 21.06.02, 2012, s. 163.*
8. *Reglament robit z vognnezakhistu dlia vognnezakhisnoi rehoviny „Amotherm Steel Wb”, shcho spuchuyetsia, dlia stalevykh konstrukcii*, DITB Ukrayiny, 2012, 95/1/36946711, s. 29.
9. *Zakhist vid pozhezhi. Budivelni konstrukcii. Metody vyprovuvannia na vognestiikist. Zakhalni vymohy (ISO 834:1975): DSTU B V.1.1-4-98. – [Chinnii vid 1998-10-28],*

К. : Ukrarkhbudynform, 1999, s. 21 (Derzhavnii standart Ukrainy).

Ковалев А.И. – в 2002 году закончил Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля МВД Украины. Работал на различных должностях: инспектор ГПН, начальник караула, преподаватель, доцент, ведущий научный сотрудник, начальник отдела. С 2012 года кандидат технических наук по специальности пожарная безопасность. Ученое звание – старший научный сотрудник с 2013 года. Член редколлегии сборника научных трудов АПБ им. Героев Чернобыля (г. Черкассы). Более 50 научных трудов в отрасли пожарной безопасности.

Дашковский В.Ю. – с 2013 года магистрант Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля. Более 5 научных трудов в отрасли пожарной безопасности.