

БОРИС А.П. / BORIS A.P.¹канд. техн. наук **ПОЛОВКО А.П. / POLOVKO A.P., Ph.D.¹**канд. техн. наук **ВЕСЕЛИВСКИЙ Р.Б. / VESELIVSKII R.B., Ph.D.¹**

Przyjęty/Accepted/Принята: 14.02.2014;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 15.07.2014;

Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2014;

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ²

An Experimental Study of Fire Retardant Coverings for Metal Structures

Badanie eksperymentalne powłok ogniochronnych konstrukcji metalowych

Аннотация

Цель: Проведен анализ современных технологий повышения функциональных свойств строительных конструкций, в том числе термомеханических. Обосновано эффективный метод повышения огнестойкости металлических конструкций путем применения огнезащитных покрытий и облицовок, выполняющих функцию теплоизоляционных экранов, которые защищают поверхность конструкции от теплового воздействия во время пожара и увеличивают время достижения предельного состояния по огнестойкости. Целью работы, является экспериментальное исследование пассивных огнезащитных покрытий для металлических конструкций.

Методы: Представлена пассивная огнезащита металлических конструкций, т.е. огнезащитное покрытие, которое при воздействии высоких температур не меняет свои физические параметры и обеспечивает огнезащиту благодаря физическим или тепловым свойствам. Проанализировав существующие методы определения огнезащитной способности, проведена идентификация огнезащитной способности экспериментальных образцов известной методикой. Предложена схема размещения термопар на опытных образцах. Оптимизировано размещение термопар на экспериментальных образцах и в печи с целью контроля температуры. Преимуществом данной методики испытания является то, что по ее результатам можно сделать вывод об огнезащитной способности огнезащитных покрытий в зависимости от их толщины защитного слоя без дополнительных математических расчетов.

Для экспериментальных исследований было изготовлено два типа образцов из конструкционно-теплоизоляционного газобетона марки D 400 и D 500, а также высокотемпературного вяжущего материала (клей). Результаты экспериментальных исследований показали, что критическая температура нагрева металлических пластин для экспериментальных образцов достигнута. Соответственно время огнезащитной способности газобетонных плиток толщиной 40 мм марки D 400 и D 500 составляет не менее 120 и 110 мин соответственно.

Результаты: По результатам, полученным в ходе проведения экспериментальных исследований пассивного огнезащитного покрытия, в соответствии с методикой ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 «Огнезащитная обработка строительных конструкций. Общие требования и методы контролирования», экспериментально установлено время достижения критической температуры на необогреваемой поверхности металлической пластины с огнезащитой из газобетонных плиток толщиной 40 мм при ее испытании в условиях стандартного температурного режима пожара. Обоснованы области применения металлических конструкций в зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: пассивное огнезащитное покрытие, степень огнестойкости, металлическая конструкция, огнезащитная способность, термопара, газобетон

Вид статьи: с практики для практики

¹ Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, Украина, 79000, Львов, ул. Клепаровская, 35; e-mail: roman_veselivskuy@yahoo.com / Lviv State University of Life Safety

² Процентное участие / Percentage contribution: Boris A.P – 50%, Polovko A.P. – 25%, Veselivskii R.B. – 25%

Abstract

Aim: The authors carried out an analysis of modern technologies with the aim of improving the functional effectiveness of building structures including thermo-mechanical properties. They verified an effective method of increasing fire resistance of metal structures by the use of fire-retardant coverings and sidings which act as thermal insulation screens. These protect the surface of structures from heat exposure during a fire incident and increase the time during which the structure maintains its fire resistance. The purpose of this work is to perform an experimental study of inert fire protection coverings for metallic structures.

Methods: The authors described inert protective coverings for metal structures known as fire-retardant coating which, do not change their physical properties under the influence of high temperatures. Because of physical and thermal characteristics such coverings provide protection against fires. After an analysis of established methods used for determining fire resistance capability, the authors utilised one such method to test a sample covering. Thermo-couples were positioned on experimental structures and in the furnace so that temperature control could be maintained. Subsequently a different thickness of covering was applied to the sample and results observed. The benefit of such an approach rests with the way results can be obtained and conclusions drawn, without additional mathematical calculations. For the benefit of this study two samples were prepared, made up from heat-insulating construction aerated concrete D 800 and D 500, and a high-temperature binder (adhesive). Research results revealed that the temperature limits for heated metal plates were achieved. Corresponding protection time for aerated concrete plates D 400 and D 500, at thickness level of 40 mm, was maintained for at least 120 and 110 minutes respectively.

Results: According to results obtained during research of inert fire-retardant coverings, performed in accordance with procedures ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 "Fire retardant treatment of building constructions. General requirements and methods of control", it was possible to determine the timescale required to achieve critical temperature levels on the surface of an unheated metal plate, covered by fire retardant aerated concrete tiles at a thickness of 40 mm, in standard temperature fire conditions. The application of this covering to metal structures in building construction was justified.

Keywords: inert fire-retardant covering, fire resistance degree, metal structure, fire-retardant ability, thermo-couple, aerated concrete

Type of article: best practice in action

Abstrakt

Cel: Przeprowadzono analizę nowoczesnych technologii mających na celu zwiększenie skuteczności właściwości funkcjonalnych konstrukcji budowlanych, w tym termomechanicznych. Uzasadniono zastosowanie efektywnej metody zwiększenia odporności na ogień konstrukcji metalowych poprzez zastosowanie powłok i okładzin ognioodpornych, pełniących funkcję ekranów termoizolacyjnych, które chronią powierzchnię konstrukcji przed oddziaływaniem ciepła w czasie pożaru oraz wydłużają czas osiągnięcia granicznych wartości odporności ogniowej. Celem pracy jest przeprowadzanie badania eksperymentalnego pasywnych powłok ogniochronnych konstrukcji metalowych.

Metody: Opisano pasywne zabezpieczenie ogniochronne konstrukcji metalowych, tj. powłokę ogniochronną, która pod wpływem wysokich temperatur nie zmienia swoich parametrów fizycznych, a także dzięki swoim właściwościom fizycznym i cieplnym zapewnia ochronę przeciwpożarową. Po przeanalizowaniu funkcjonujących metod określania zdolności ogniochronnej przeprowadzono za pomocą znanej metodologii identyfikację właściwości przeciwpożarowych próbek. Zaproponowano schemat rozmieszczenia termopar na próbkach eksperymentalnych. Zoptymalizowano rozmieszczenie termopar na próbkach eksperymentalnych oraz w piecu celem kontroli temperatury. Przewagą danej metodologii badania jest to, iż na podstawie jej wyników można wyciągnąć wnioski o właściwościach przeciwpożarowych powłok ogniochronnych w zależności od grubości ich warstwy ochronnej bez dodatkowych obliczeń matematycznych.

Na potrzeby badań eksperymentalnych przygotowano dwa rodzaje próbek z konstrukcyjno-termoizolacyjnego gazobetonu marki D 400 i D 500 oraz wysokotemperaturowego materiału wiążącego (kleju). Wyniki badań eksperymentalnych pokazały, że krytyczna temperatura grzania metalowych tafli próbek eksperymentalnych została osiągnięta. Odpowiednio czas zdolności ogniochronnej bloczków gazobetonowych o grubości 40 mm, marek D 400 i D 500 wynosi nie mniej niż odpowiednio 120 i 110 min.

Wyniki: Na podstawie wyników, otrzymanych w rezultacie badań eksperymentalnych pasywnej powłoki ogniochronnej, przeprowadzonych zgodnie z metodyką ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 „Ogniochronna obróbka konstrukcji budowlanych. Wymagania ogólne i metody kontroli”, określono czas osiągnięcia krytycznej temperatury na powierzchni nieogrzewanej metalowej tafli pokrytej zabezpieczeniem ogniochronnym z gazobetonowych bloczków o grubości 40 mm podczas badań w warunkach standardowej temperatury przy pożarze. Uzasadniono obszar zastosowania konstrukcji metalowych w budynkach i budowlach.

Słowa kluczowe: pasywne pokrycie ogniochronne, poziom odporności ogniowej, konstrukcja metalowa, zdolność ogniochronna, termopara, gazobeton

Typ artykułu: z praktyki dla praktyki

1. Введение

Развитие современных технологий требует повышения функциональных свойств строительных конструкций, в том числе термомеханических. Для строительных конструкций, которые используются при строительстве зданий и сооружений различного назначения, одним из основных требований является нормированный предел огнестойкости.

Металлические конструкции широко используются в современном строительстве. Высокая несущая

способность при сравнительно небольшой массе, надежность работы при различных видах напряженного состояния и агрессивных эксплуатационных условиях, практичность и универсальность – основные качества, которые выгодно отличают металлические конструкции от бетонных, деревянных. Наряду с этими преимуществами, стальные конструкции имеют и недостатки, в частности низкую огнестойкость REI 15. При нагревании свыше 500°C они теряют несущую способность [1-7].

Одним из наиболее эффективных методов повышения огнестойкости металлических конструкций является применение огнезащитных покрытий и облицовок, которые выполняют функцию теплоизоляционных экранов, защищающих поверхность конструкции от теплового воздействия во время пожара и увеличивающих время достижения предельного состояния с огнестойкости по признаку потери несущей способности [2].

Основное задание огнезащиты металлических конструкций состоит в изоляции поверхности материала от прямого теплового воздействия пожара.

В работе рассматривается пассивная защита, то есть огнезащитное покрытие, которое при воздействии высоких температур не меняет своей физической формы и обеспечивает огнезащиту благодаря физическим или тепловым способностям.

Внедрение на рынок новых пассивных огнезащитных покрытий в Украине является очень сложным и дорогим процессом. Основным барьером для быстрого внедрения дешевых и качественных огнезащитных покрытий является определение огнезащитной способности в соответствии с действующими нормативными документами.

Соответственно без определения огнестойкости металлических конструкций проектирование объектов строительства имеет более абстрактный характер, впрочем, как и уровень пожарной безопасности объекта в целом. Кроме того, применение того или иного способа огнезащиты связано со значительными экономическими затратами и в отдельных случаях достигает 20% от полной стоимости строительства в целом.

2. Методы

С 2007 года в Украине методы оценки огнезащитной способности огнезащитных покрытий металлических несущих конструкций изложены в ДСТУ Б.В.1.1 -17 : 2007 [2], согласно с которыми зависимость определяется экспериментальным путем нагрева образцов в огневой печи в условиях, определенных в [3], с последующей обработкой данных испытаний различными методами математического анализа. Указанный нормативный документ соответствует европейскому стандарту [4]. В стандарте [1] дополнительно к математическим методам, определенным в европейском стандарте [4], приведены методы обработки экспериментальных данных путем решения прямых и обратных задач теплопроводности.

В результате расчетов методами математического анализа с учетом исходных данных полученных при испытании, получают зависимости в виде таблиц и графиков для нормированного ряда значений класса огнестойкости: R15; R30; R60; R90; R120; R180; R240, т.е. определяют полную сферу применения огнезащитных покрытий для металлических несущих строительных конструкций (балок, колонн), которые подвергаются воздействию высоких температур из трех или четырех сторон.

Согласно [1], для определения огнезащитной способности пассивных огнезащитных покрытий необходимо провести объемные, в количественном отношении, огневые испытания часть которых направлена на определение огнезащитной способности, а часть - на оценку способности покрытия к слипанию (сцепление).

ДСТУ- Н -П Б В.1.1 - 29: 2010 [5] предусматривает общие требования и методы контроля огнезащитной способности при приемке выполненных работ по огнезащитной обработке конструкций, идентификации и последующей эксплуатации.

Суть метода заключается в определении времени от начала теплового воздействия на опытный образец до наступления предельного состояния для этого образца.

Использование теплоизоляционного газобетона марки D 400, D 500 вполне возможно, поскольку этот материал имеет много преимуществ по теплофизическим свойствам в сравнении с другими огнезащитными материалами и покрытиями. Для монтажа огнезащитного покрытия на металлическую конструкцию использовался высокотемпературный вяжущий материал (клей).

Для проведения экспериментальных испытаний было изготовлено два типа опытных образцов соответствующего размера и материала, основные параметры и характеристики, которых представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные параметры и характеристики опытных образцов

Table 1.

Main parameters and characteristics of the experimental samples

| № п/п No. | Марка образца Brand of a sample | Количество Образца Number of samples | Материал Material | Габаритные размеры, мм Size (mm) |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------------|
| 1. | Г-1 (G-1) | 2 | Газобетон марки D400 Gas concrete D400 | 500x500x40 |
| 2. | Г-2 (G-2) | 2 | Газобетон марки D500 Gas concrete D500 | 500x500x40 |
| 3. | К (K) | К-1 (K-1) | клей марки ТИ-1К-А (glue ТИ-1К-А) | 250x250x1 |
| | | К-2 (K-2) | клей марки ТИ-1К-А (glue ТИ-1К-А) | 250x250x2 |

На рис. 1 представлены схемы размещения термомпар на опытных образцах.

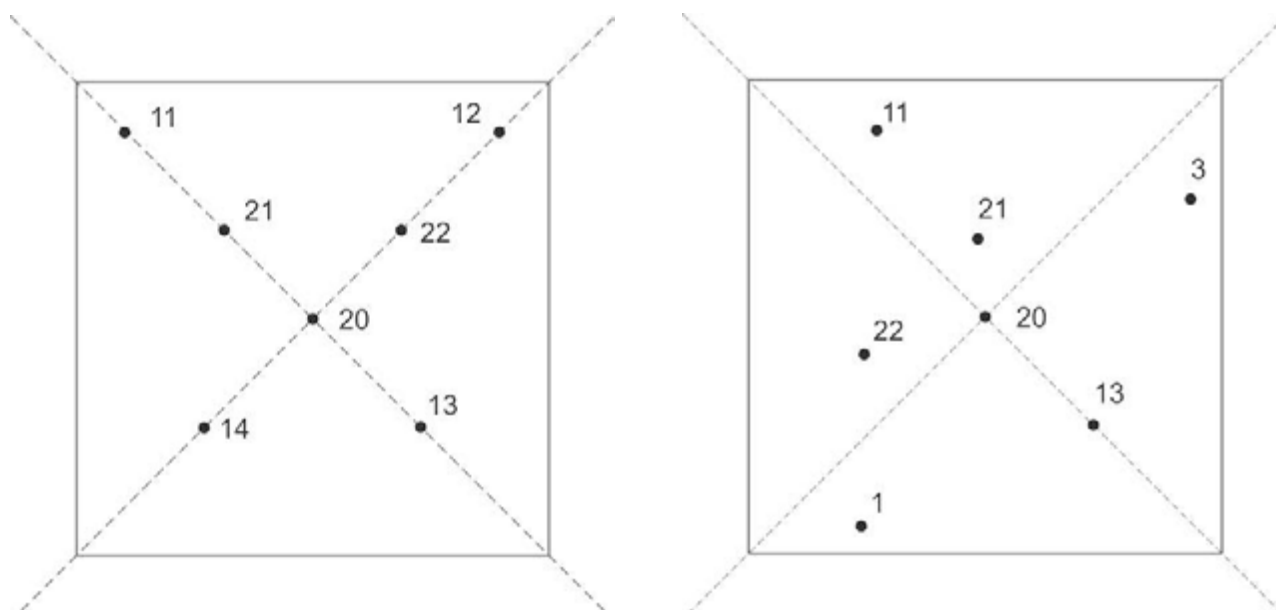


Рис. 1. Схемы размещения термодпар в газобетоне, образец:

Г-1

№ 11, 12, 13, 14, 20 - термодпары в металле
 № 21 - термодпара в клею
 № 22- термодпара в газоблоке на глубине 20мм

Г-2

№ 1, 3, 11, 13, 20 - термодпары в металле
 № 22 - термодпара в клею
 № 21- термодпара в газоблоке на глубине 20мм

Fig. 1. Position of thermocouples in aerated concrete, sample:

Г-1

№ 11, 12, 13, 14, 20- thermocouples in metal
 № 21- thermocouples in glue
 № 22- thermocouples in glue aerated concrete block
 in 20 mm depth

Г-2

№ 1, 3, 11, 13, 20- thermocouples in metal
 № 22- thermocouples in glue
 № 21- thermocouples in glue aerated concrete block
 in 20 mm depth

На рис. 2 представлена схема размещения термодпар в клею.

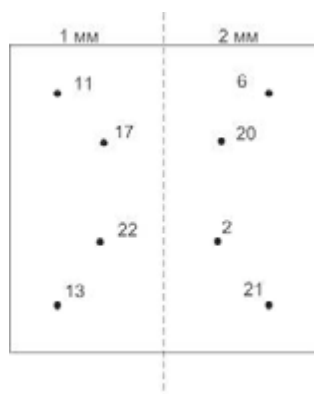


Рис. 2. Схемы размещения термодпар в клею
 № 2, 17, 20, 22- термодпары в металле; № 11, 13 - термодпара в клею толщиной 1 мм; № 6, 21 - термодпара в клею толщиной 2 мм.

Fig. 2. Position of thermocouples in glue:

№ 2, 17, 20, 22- thermocouples in metal; № 11, 13 - thermocouples in glue in 1 mm depth; № 6, 21 - thermocouples in glue in 2 mm depth

3. Результаты

Требования, предъявляемые к защитным покрытиям, как и условия их эксплуатации, могут быть самыми разнообразными. Поэтому выбор защитного покрытия для каждого случая должен проводиться отдельно, в зависимости от характера агрессивной среды и природы покрываемого материала.

Экспериментальные испытания по определению огнезащитной способности проводились в соответствии с требованиями [5].

Значение контролируемой критической температуры ($T_{кр}$) нагрева металлической пластины при проведении экспериментальных исследований составляло:

$$T_{кр} = T_0 + 480 = 18 + 480 = 498 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $T_0 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ - начальная температура.

На рис. 3, 4, 5 представлены усредненные результаты экспериментальных исследований огнезащитной способности газобетонных плиток и висотемпературного клея.

Проанализировав результаты экспериментальных исследований, можно утверждать, что критическая температура нагрева металлической пластины для образцов марки Г-1 достигнута на 124 мин (термодпара T12). Соответственно время огнезащитной способности газобетонных плиток марки D400 толщиной 40 мм составляет не менее 120 мин. Предельное состояние для газобетона на глубине 20мм (термодпара T22) достигнуто на 98 мин эксперимента.

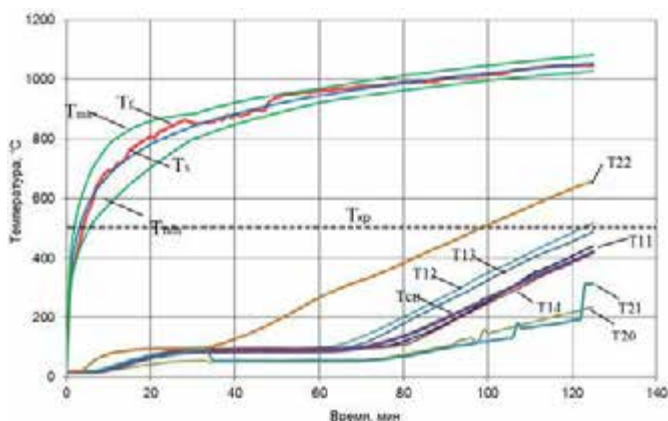


Рис. 3. Сопоставление усредненных результатов для образцов марки Г-1

Т_{кр} - критическая температура предельного состояния для металлической конструкции;

Т_F - температура в печи; Т_S - стандартная температурная кривая; Т_{min} - минимальное значение Т_S; Т_{max} - максимальное значение Т_S; T11- T14, T20-T22 - термопары на образцах; Т_{ср} - среднее значение для T11-T14, T20

Fig. 3. Comparison of average results for samples Г-1
Т_{кр}- critical temperature of limit state for a metal plate;
Т_F- temperature of oven; Т_S- standard temperetare curve;
Т_{min}- minimal value Т_S; Т_{max}- maximal value Т_S; T11- T14, T20-T22- thermocouples in samples; Т_{ср}- average value for T11-T14, T20

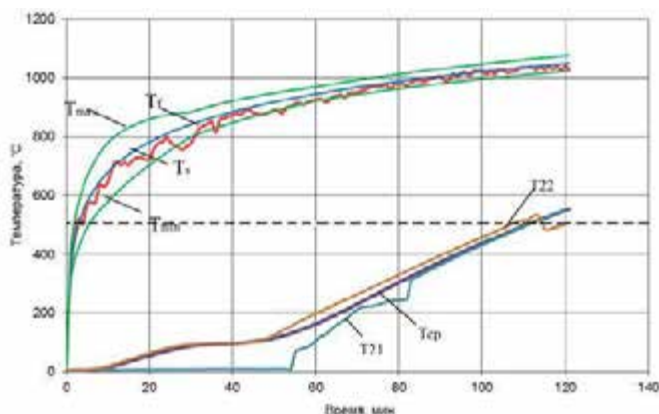


Рис. 4. Сопоставление усредненных результатов для образцов марки Г-2

Т_{кр} - критическая температура предельного состояния для металлической конструкции; Т_F- температура печи;
Т_S - стандартная температурная кривая; Т_{min} - минимальное значение Т_S; Т_{max} - максимальное значение Т_S; T21, T22- термопары на образцах;

Т_{ср}- среднее значение T21, T22

Fig. 4. Comparison of average results for samples Г-2
Т_{кр}- critical temperature of limit state for a metal plate;
Т_F- temperature of oven; Т_S- standard temperetare curve;
Т_{min}- minimal value Т_S; Т_{max}- maximal value Т_S; T21, T22- thermocouples in samples; Т_{ср}- average value of T21, T22

По результатам исследований для образца марки Г-2 критическая температура нагрева металлической пластины была достигнута на 110 мин, соответственно время огнезащитной способности газобетонных плиток толщиной 40 мм марки D500, составляет не менее 110 мин.

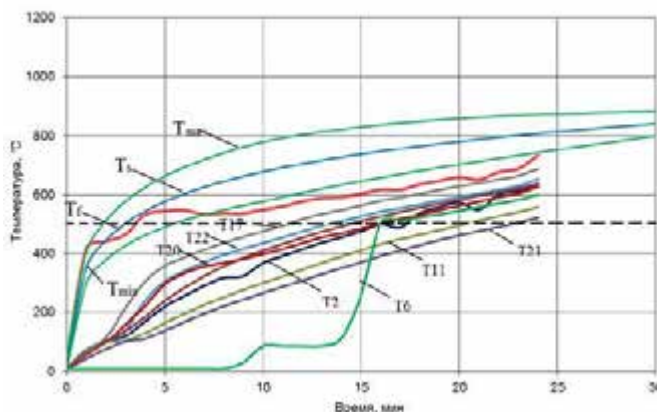


Рис. 5. Сопоставление усредненных результатов для образцов клея

Т_{кр} - критическая температура металлической конструкции, при которой наступает предельное состояние по огнестойкости; Т_F - температура печи; Т_S- стандартная температурная кривая; Т_{min} - минимальное значение Т_S; Т_{max}- максимальное значение Т_S; T2, T17, T20, T22- термопары на необогреваемой поверхности металлической пластины; T11, T13- термопара в клею толщиной 1 мм; T6, T21- термопара в клею толщиной 2 мм

Fig. 5. Comparison of average results for samples of glue
Т_{кр}- critical temperature for a metal plate;
Т_F- furnace temperature; Т_S- standard temperetare curve;
Т_{min}- minimal value Т_S; Т_{max}- maximal value Т_S; T2, T17, T20, T22- thermocouples in unheated side;
T11, T13- thermocouples in glue 1 mm depth; T6, T21- thermocouples in glue 2 mm depth

Учитывая незначительное время огнезащитной способности высокотемпературного клея, которое составило для образца толщиной 1 мм около 17 мин, толщиной 2 мм около 20 мин, можно сделать вывод, что его применение в качестве огнезащитного покрытия – нецелесообразно.

4. Выводы

Проанализированы существующие методы определения огнезащитной способности, проведена идентификация огнезащитной способности экспериментальных образцов.

Экспериментально установлено время достижения критической температуры на необогреваемой поверхности металлической пластины с огнезащитой из газобетонных плиток толщиной 40 мм при ее испытании в условиях стандартного температурного режима пожара. Обоснованы области применения [7] металлических конструкций в зданиях и сооружениях с огнезащитным слоем из газобетонных плиток соответственно:

- марки Г-1 толщиной 40 мм не менее 120 мин - II-V степень огнестойкости;
- марки Г-2 толщиной 40 мм не менее 110 мин – III-V степень огнестойкости.

Список литературы

1. DSTU-N B EN 1993-1-2:2010 EVROKOD 3. Proektuvannia stalevikh konstruktsii „Chastina 1-2. Osnovni polozhenia. Rozrakhunok konstruktsii na vognestiikist”.
2. DSTU B V.1.1-17:2007. Vognezakhisni pokrittia dlia budivelnnykh nesuchikh metalevikh konstruktsii. Metod viznachennia vognezakhisnoi zdatnosti (ENV 13381-4:2002, NEQ).
3. Zakhist vid pozhezhi. Budivelni konstruktsiii. Metody vyprovuvannia na vognestiikist. Zahalni vymohy (ISO 834:1975) : DSTU B V.1.1-4-98 [Chinnii vid 1998-10-28], K.: Ukrarkhbudinform, 1999, s. 21.
4. EN 1993-1-2 (2005) Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
5. Zakhist vid pozhezhi. Vognezakhysne obroblannia budivelnnykh konstruktsii. Zahalni vymohy ta metody kontrolyuvannia : DSTU-N-P B V.1.1-29:2010. – [Chinnii vid 2011-11-01], K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011, s. 9.
6. GOST R 53295-2009. Sredstva ogneshchity dlia stalnykh konstruktsii. Metody opredeleniia ogneshchitnoi effektivnosti. Obshchie trebovaniia.
7. Zakhist vid pozhezhi. Pozhezhna bezpeka obektiv budivnitstva : DBN V.1.1-7-2002. – [Chinnii vid 2003-05-01], Derzhpozhibezpeka, 2003, s. 87.

Борис Александр Павлович – адъюнкт, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности.

Половко Андрей Петрович – главный научный сотрудник, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности.

Веселивский Роман Богданович – доцент кафедры гражданской защиты и компьютерного моделирования экогеофизических процессов, кандидат технических наук, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности.