

УДК 658.382.3

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В ОЧАГЕ ПОЖАРА

БЕЛИКОВ А. С.^{1*}; *д.т.н., проф.*,
ШАЛОМОВ В. А.^{2**}; *к.т.н., доц.*,
СТАЦЕНКО Ю. Ф.³; *ст. преп.*,
КОРЖ Е. Н.⁴; *соиск.*

^{1*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2**} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

³ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49000, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6791-2678

⁴ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

Аннотация. *Цель.* Повышение безопасности строительных объектов за счет снижения пожарной опасности металлических конструкций. *Методика.* Стандартные методики исследования и "Методика экспериментального определения повышения огнестойкости строительных конструкций, группы труднгорючих и горючих твердых материалов". *Результаты.* В статье освещены вопросы, связанные с обеспечением безопасности работающих на объектах за счет снижения горючести строительных материалов и повышения безопасности эксплуатации строительных конструкций. Металлические незащищенные конструкции при высокотемпературном влиянии аккумулируют большое количество тепловой энергии, в результате чего они теряют несущую способность, потеря которой приводит к их обрушению. Обрушение конструкций уменьшает количество путей эвакуации, приводит к травмированию и гибели людей. Для обеспечения безопасной эксплуатации металлических конструкций в экстремальных условиях при высокотемпературном влиянии были проведены исследования по разработке новых защитных вспенивающихся композиций. Исследования показали, что изменение защитной способности, адгезионной прочности, технологических параметров, зависит от содержания компонентов в защитных композициях. В процессе исследований определены компоненты и установлены зависимости влияния содержимого компонентов на защитные, адгезионные свойства, на процессы вспенивания покрытия в процессе высокотемпературного влияния и другие параметры. В результате многофакторного анализа были получены математические модели, которые устанавливают зависимости прогрева металла с покрытием к критической температуре от содержимого входящих компонентов, при заданной толщине покрытия. *Научная новизна.* Установлены зависимости влияния входящих компонентов в защитные композиции и толщины покрытия на динамику прогрева металла до критической температуры при стандартном развитии пожара. Получены математические зависимости влияния входящих компонентов и толщины покрытия на изменение огнезащитной способности покрытия. *Практическая значимость.* На основании проведенных исследований разработаны эффективные композиции, позволяющие повысить безопасность строительных объектов, безопасность эвакуации людей и безопасность аварийно-спасательных работ за счет снижения горючести материалов и повышения огнестойкости применяемых конструкций.

Ключевые слова: Безопасность строительных объектов и конструкций, безопасность путей эвакуации, защитная композиция, горючесть строительных материалов, адгезионная прочность

ДО ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ В ОСЕРЕДКУ ПОЖЕЖІ

БЕЛКОВ А. С.^{1*}; *д.т.н., проф.*,
ШАЛОМОВ В. А.^{2**}; *к.т.н., доц.*,
СТАЦЕНКО Ю. Ф.³; *ст. викл.*,
КОРЖ Е. Н.⁴; *здобув.*

^{1*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2**} Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

³ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49000, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6791-2678

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

Анотація. Мета. Підвищення безпеки будівельних об'єктів за рахунок зниження пожежної небезпеки металевих конструкцій. **Методика.** Стандартні методики дослідження і "Методика експериментального визначення підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій, групи важкогорючих і горючих твердих матеріалів". **Результати.** У статті висвітлені питання, пов'язані із забезпеченням безпеки працюючих на об'єктах за рахунок зниження горючості будівельних матеріалів і підвищення безпеки експлуатації будівельних конструкцій. Металеві незахищені конструкції при високотемпературному впливі акумулюють велику кількість теплової енергії, внаслідок чого вони втрачають несучу здатність, втрата якої приводить до їх обвалення. Обвалення конструкцій зменшує кількість шляхів евакуації, приводить до травмування і загибелі людей. Для забезпечення безпечної експлуатації металевих конструкцій в екстремальних умовах при високотемпературному впливі були проведені дослідження з розробки нових захисних композицій, що спінуються. Дослідження показали, що зміна захисної здатності, адгезійної міцності, технологічних параметрів, залежить від вмісту компонентів на захисні, адгезійні властивості, на процеси спіновання покриття в процесі високотемпературного впливу та інші параметри. В результаті багатofакторного аналізу були отримані математичні моделі, які встановлюють залежності прогрівання металу з покриттям до критичної температури від вмісту вхідних компонентів, при заданій товщині покриття. **Наукова новизна.** Встановлені залежності впливу вхідних компонентів в захисні композиції і товщину покриття на динаміку прогрівання металу до критичної температури при стандартному розвитку пожежі. Отримані математичні залежності впливу вхідних компонентів і товщини покриття на зміну вогнезахисної здатності покриття. **Практична значимість.** На підставі проведених досліджень розроблені ефективні композиції, що дозволяють підвищити безпеку будівельних об'єктів, безпеку евакуації людей і безпеку аварійно-рятувальних робіт за рахунок зниження горючості матеріалів і підвищення вогнестійкості вживаних конструкцій.

Ключові слова: Безпека будівельних об'єктів і конструкцій, безпека шляхів евакуації, захисна композиція, горючість будівельних матеріалів, адгезійна міцність

TO QUESTION OF PROVIDING OF SAFE EXPLOITATION OF METALLIC CONSTRUCTIONS IN HEARTH OF FIRE

BYELIKOV A. S.^{1*}; *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SHALOMOV V. A.^{2**}; *Cand. Sc. (Tech.), Associate Prof.*,
STATSENKO Yu. F.³; *Sen. Teach.*,
KORZH Ye. M.⁴; *Postgraduate.*

^{1*} Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2**} Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

³ Department of Life Safety, Dnepropetrovsk agrarian-economic university, Voroshilova st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6791-2678

⁴ Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

Abstract. Purpose. Increase of safety of build objects due to the decline of fire hazard of metallic constructions. **Methodology.** Standard methods of research and "Method of experimental determination of increase of fire-resistance of build constructions, groups difficult combustible and combustible hard materials". **Findings.** Questions, related to providing of safety workings on objects due to the decline of combustibility of build materials and increase of safety of exploitation of build constructions, are lighted up in the article. Metallic unscreened constructions at high temperature influence accumulate plenty of thermal energy, as a result they lose bearing strength the loss of which results in their bringing down. Bringing down of constructions is diminished by the amount of ways of evacuation, results in injuring and death of people. For providing of safe exploitation of metallic constructions in extreme terms at high temperature influence were conducted research on development of new protective spumific compositions. Researches refuted that a change protective ability, adhesion strength, technological parameters, depended on maintenance of components in protective compositions. In the process of researches constituents are certain and dependences of influence of content of components are set on protective, adhesion properties, on the processes of making foam of coverage in the process of high temperature influence

and other parameters. As a result of multivariable analysis mathematical models which set dependences of warming up of metal with coverage to the critical temperature from content of incoming components were got, at the set thickness of coverage. **Originality.** Dependences of influence of incoming components are set in protective compositions and thicknesses of coverage on the dynamics of warming up of metal to the critical temperature at standard development of fire. Mathematical dependences of influence of incoming components and thickness of coverage on the change of fireproof ability of coverage are got. **Practical value.** On the basis of the conducted researches effective compositions, allowing to promote safety of build objects, safety of evacuation of people and safety wrecking due to the decline of combustibility of materials and increase of fire-resistance of the applied constructions, are developed.

Keywords: Safety of build objects and constructions, safety of ways of evacuation, protective composition, combustibility of build materials, adhesion strength

Постановка проблемы

Надежность работы конструкций из различных материалов определяется отсутствием при эксплуатации предельных состояний. Накопление опасных факторов и их проявление приводят к скачкообразному изменению свойств материала и конструктивных особенностей конструкций, что сказывается на безопасности и охране труда работающих. Особенно очевидно проявление опасности при высокотемпературном воздействии на конструкции в очаге пожара. Проведенный нами обзор литературных источников показал, что весьма перспективным способом повышения работоспособности конструкций в очаге пожара, обеспечения безопасности является нанесение вспучивающихся огнезащитных покрытий [3, 5-8].

Цель статьи

Разработка и изучение свойств вспучивающихся огнезащитных покрытий, которые позволят повысить безопасность жизнедеятельности и охраны труда работающих.

Изложение основного материала

На основании исследований проведенных в научно-исследовательской лаборатории кафедры безопасности жизнедеятельности ПГАСА были разработаны ряд огнезащитных вспучивающихся покрытий на основе жидкого стекла. В качестве основных наполнителей в них были использованы: зола уноса, горелая порода, асбест, асбестоцементные отходы (АЦО) и т.д. [2]. Указанные композиции применяются, в основном, для снижения горючести деревянных строительных конструкций. Их применение для защиты металлических конструкций (МК) не всегда оправдано из-за низкой адгезионной прочности к металлу, а также не технологичности при нанесении покрытия толщиной более 1 мм [4].

Поэтому, для устранения указанных недостатков возникла необходимость проведения исследований по разработке огнезащитных композиций для защиты металлических конструкций. В соответствии с целью и задачами исследований нами были проведены исследования по отбору исходных компонентов для огнезащитного покрытия. При этом проводилась оценка влияния входящих компонентов на адгезионную прочность покрытия с металлом и повышение огнестойкости. Испытаниям подвергались стандартные

модельные образцы 200x200мм из стали ст3 и стали 40 ДСТУ 2834-94 с покрытием и без покрытия на экспериментальной лабораторной установке по методике ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [8, 9].

Результаты исследований представлены на рис. 1.

Анализ полученных данных показал, что введение наполнителя мелковолокнистого асбеста и асбестоцементных отходов улучшает сцепление покрытия с предохраняемой поверхностью металла и повышает безопасность за счет увеличения огнестойкости конструкций [4, 13]. Так, увеличение содержания асбестоцементных отходов от 5 до 15% незначительно повышает адгезионную прочность и огнестойкость, наибольшая эффективность их влияния проявляется при содержании от 20 до 40%, при этом, адгезионная прочность повышается до 5,8-6,8 МПа, а безопасное время эксплуатации металлических конструкций (огнестойкость) до 50-55 мин. Отмечено, что оптимальное соотношение асбестоцементных отходов не должно превышать 30%, так как дальнейшее увеличение отрицательно сказывается на огнезащитных свойствах покрытия. Как показали исследования, введение асбестоцементных отходов в количестве более 30% с одной стороны способствует увеличению вязкости композиции, с другой, из-за высокой адсорбционной способности, ведет к комкованию смеси, что отрицательно, по-видимому, сказывается на смачивании композицией поверхности защищаемого металла.

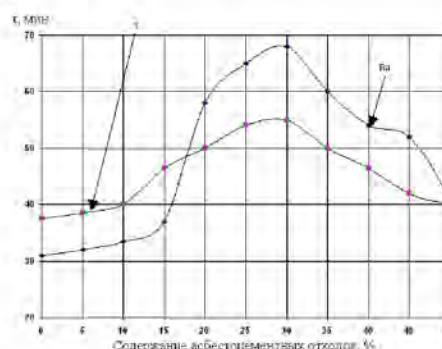


Рис. 1 Изменение адгезионной прочности и огнестойкости покрытия в зависимости от содержания АЦО: R_a - адгезионная прочность, МПа; τ - огнестойкость, мин. / Change adhesion strength and fire-resistance of coverage depending on maintenance of asbestos-cement wastes (ACW): R_a adhesion strength, МPa; τ - a fire-resistance, min.

Исследования показали, что улучшение свойств покрытия может быть достигнуто введением цинковых белил (рис. 2). Так, введение в жидкостекляную композицию цинковых белил повышает огнезащитную способность покрытия, как за счет повышения величины вспучивания, так и повышения прочности контакта покрытия с предохраняемой поверхностью металла. Увеличение содержания цинковых белил до 6,5-8,0% позволяет повысить адгезионную прочность до 7,2-7,3 МПа, а огнестойкость повышается до 70-75 мин. Дальнейшее увеличение содержания цинковых белил оказывает негативное влияние.

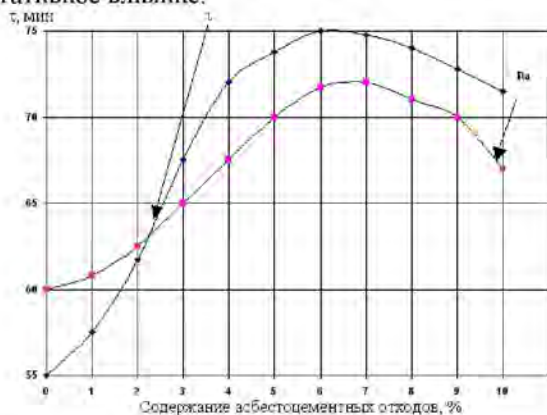


Рис. 2 Изменение адгезионной прочности и огнестойкости покрытия в зависимости от содержания цинковых белил (ЦБ) (жидкое стекло (ЖС): асбестоцементные отходы 75:25) / Change adhesion strength and fire-resistance of coverage depending on maintenance of zinc whitewashes (ZW) (liquid glass (LG): asbestos-cement wastes 75:25)

Для изучения взаимовлияния компонентов в рассматриваемой композиции нами при планировании экспериментов были приняты в качестве переменных параметров: x_1 - содержание жидкого стекла, масс. %; x_2 - содержание асбестоцементных отходов, масс. %; x_3 - содержание цинковых белил, масс. %.

Для моделирования зависимостей между принятыми показателями и переменными использован стандартный пакет статистической обработки STATGRAFICS 2.0, который является лицензированным программным обеспечением фирмы STATGRAFICS Corporation.

Согласно теории вероятности для корреляционно-регрессивного анализа, если многомерные случайные величины (исходные данные) имеют одинаковое распределение, то теоретически, линия регрессии выражается моделью вида:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

В результате исследования многомерной системы с помощью многомерного регрессивного анализа получена модель зависимости прогрева металла с покрытием до критической температуры от содержания входящих компонентов при толщине покрытия 1,0мм:

$$\tau = 225,697 - 1,397x_1 + 2,019x_2 + 2,059x_3 \quad (1)$$

где τ - предел огнестойкости стальной пластины $\delta_{пр}=10$ мм, мин; x_1, x_2, x_3 - содержание компонентов, масс. %: оксид цинка, асбестоцементные отходы, жидкое стекло.

Детерминированность модели удовлетворительная, т.е. описание модели выбранными факторами достаточно полное. Коэффициент детерминации - сумма квадратов (остаточная) R-SQ (АД) сравнительно небольшая. Взаимосвязь компонентов x_1, x_2 с исследуемым параметром (τ) очень тесная: коэффициенты корреляции $R_{yx_1}=0,999$; $R_{yx_2}=0,940$; $R_{yx_3}=0,999$. Степень тесноты связи высокая. Выявлена весьма сильная связь между переменными факторами x_1, x_2 и x_3 : $R_{x_1x_2}=0,938$; $R_{x_1x_3}=0,998$; $R_{x_2x_3}=0,929$.

В результате проверки модели (сравнение полученных расчетных значений с экспериментальными данными) установлено, что сумма всех отклонений (разностей расчетных и фактических) близка к нулю, что говорит о довольно полном описании происходящих процессов в модели.

Установлена зависимость изменения адгезионной прочности покрытия с предохраняемой поверхностью от содержания компонентов:

$$R_a = 1,197 + 0,112x_1 + 0,405x_2 + 0,029x_3 \quad (2)$$

где R_a - адгезионная прочность, МПа; x_1, x_2, x_3 - содержание компонентов, масс. %.

Анализ полученной модели показал, что детерминированность модели удовлетворительная. Установлено, что между искомой функцией и переменными x_1 - жидким стеклом, x_2 - асбестоцементными отходами и x_3 - цинковыми белилами существует тесная связь: $R_{x_1y}=0,999$; $R_{x_2y}=0,940$; $R_{x_3y}=0,999$; степень тесноты переменных: $R_{x_1x_2}=0,938$; $R_{x_1x_3}=0,998$; $R_{x_2x_3}=0,929$.

В результате проверки зависимости (2) установлено, что сумма всех отклонений (расчетных и фактических) равна нулю, что говорит о достаточно полном описании моделью происходящих процессов.

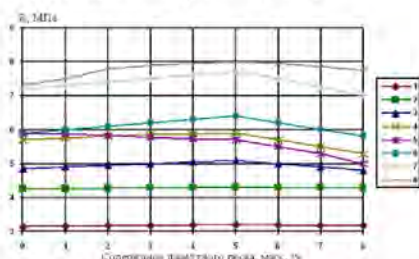
Полученная зависимость позволяет прогнозировать безопасное время нахождения людей на объекте до обрушения металлических конструкций, что дает возможность аварийно-спасательным службам уберечь работающих от гибели и травматизма.

Полученные нами зависимости позволили установить, что входящие компоненты: жидкое стекло, асбестоцементные отходы, цинковые белила оказывают существенное влияние на огнезащитную способность покрытия, поэтому с учетом требований технологических параметров к огнезащитной композиции нами был определен оптимальный состав композиции для защиты металла, масс. %:

асбест или асбестоцементные отходы	20-35
цинковые белила	5-8
жидкое стекло	остальное

Новизна огнезащитной композиции подтверждена выдачей Госпатентом Украины патента на изобретение №22318А (в дальнейшем композиция ВЗП-Ж-2). Предложенная огнезащитная композиция в отличии от известных [1, 5, 10, 12] технологична. Так, применяемая огнезащитная композиция имеет хорошее начальное сцепление с покрываемой поверхностью металла. При этом, легко может быть достигнута требуемая толщина огнезащитного покрытия. Потеря при нанесении на вертикальные поверхности раствора огнезащитной композиции составляют 5-10%, что значительно меньше чем известных.

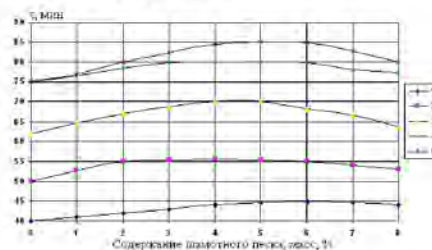
Проведенные исследования показали, что повышение безопасности людей на объектах может быть достигнута повышением огнезащитной способности покрытия, введение кроме волокнистых наполнителей, тонкодисперсных с высокой огнеупорностью [11]. Так, из рис. 3 и 4 видно, что введение тонкоизмельченного шамотного песка ($\rho=1000-1500 \text{ см}^2/\text{г}$) позволяет улучшить структуру композиции. Однако, исследования показали, что только при определенном сочетании компонентов: жидкого стекла, асбестоцементных отходов и шамотного песка достигается наибольшая работоспособность покрытия. Установлено, что при введении в композицию 5-6% шамотного песка и содержании до 8% цинковых белил достигается наибольшая адгезионная прочность покрытия ($R_a=7,6-8,0 \text{ МПа}$) и огнестойкость достигает до 80-85 мин (толщина покрытия 5 мм).



*Рис. 3 Изменение адгезионной прочности покрытия в зависимости от содержания шамотного песка: 1 - композиция: ЖС: АЦО 90:10; 2 - ЖС: АЦО 85:15; 3 - ЖС: АЦО 80:20; 4 - ЖС: АЦО 75:25; 5 - ЖС: АЦО 70:30; 6 - ЖС: АЦО: ЦБ 73:15:7; 7 - ЖС: АЦО: ЦБ 68:20:7; 8 - ЖС: АЦО: ЦБ 63:25:7 / *Change adhesion strength of coverage depending on maintenance of fire-clay sand: 1 - composition: LG: ACW 90:10; 2 - LG: ACW 85:15; 3 - LG: ACW 80:20; 4 - LG: ACW 75:25; 5 - LG: ACW 70:30; 6 - LG: ACW: ZW 73:15:7; 7 - LG: ACW: ZW 68:20:7; 8 - LG: ACW: ZW 63:25:7**

Установлено, что введение наполнителя - шамотного песка в значительной степени предохраняет комкование смеси и способствует получению однородной массы. При этом просматривается взаимосвязь изменения огнезащитной способности покрытия от величины адгезионной прочности с предохраняемой поверхностью. Увеличение адгезионной прочности, по-видимому, связано с увеличением равномерного армирования в контактной зоне.

Исследования показали, что покрытие содержащее шамотный песок и АЦО при вспучивании образует мелкопоризованную структуру по всему объему, что и определяет огнезащитную эффективность покрытия.



*Рис. 4 Изменение огнезащитной способности покрытия в зависимости от содержания в композиции шамотного песка: 1 - композиция: ЖС: АЦО 90:10; 2 - ЖС: АЦО 80:20; 3 - ЖС: АЦО: ЦБ 73:15:7; 4 - ЖС: АЦО: ЦБ 68:20:7; 5 - ЖС: АЦО: ЦБ 63:25:7 / *Change fireproof ability of coverage depending on maintenance in composition of fire-clay sand: 1 - composition: LG: ACW 90:10; 2 - LG: ACW 80:20; 3 - LG: ACW: ZW 73:15:7; 4 - LG: ACW: ZW 68:20:7; 5 - LG: ACW: ZW 63:25:7**

Полученные данные (рис. 3 и 4) были обработаны на ЭВМ. После обработки данных были установлены следующие математические зависимости:

Влияние входящих компонентов на огнезащитную способность покрытия (τ , мин):

$$\tau = 967,54 - 0,7x_1 - 9,41x_2 - 8,33x_3 + 9,72x_4 \quad (3)$$

где: τ - огнестойкость металлических пластин, $\delta_{пр}=10 \text{ мм}$, мин; x_4 - содержание жидкого стекла, %; x_3 - содержание асбестоцементных отходов, %; x_2 - содержание цинковых белил, %; x_1 - содержание шамотного песка, %.

Анализ полученной зависимости (3) показал, что между входящими компонентами x_1 , x_2 , x_3 и x_4 и исходной функцией существует тесная взаимосвязь: $R_{yx_1}=0,618$; $R_{yx_2}=0,910$; $R_{yx_3}=0,994$; $R_{yx_4}=0,999$. По численным значениям коэффициентов модели можно сказать, что наибольшее влияние на изменение огнестойкости оказывает аргумент - жидкое стекло в сочетании с другими аргументами. Проверка модели путем сравнения полученных расчетных значений и исходных данных показала, что разность близка к нулю, что говорит об удовлетворительной подгонке модели.

Данная зависимость позволяет предварительно на стадии проектирования огнезащитной композиции по количественному соотношению компонентов определить безопасное время нахождения людей на объектах, что предупреждает возможность травмирования и гибели людей, повышает безопасность объекта в целом.

Влияние входящих компонентов на адгезионную прочность покрытия:

$$R_a = 99,38 - 0,18x_1 - 0,73x_2 - 0,91x_3 - 1,0x_4 \quad (4)$$

где: R_a - адгезионная прочность покрытия с предохраняемой поверхностью, МПа; x_1, x_2, x_3, x_4 - содержание компонентов, % по массе.

Анализ полученной модели показал, что между входящими компонентами x_1, x_2, x_3 и x_4 и адгезионной прочностью существует устойчивая связь: $R_{yx_1}=0,618$; $R_{yx_2}=0,910$; $R_{yx_3}=0,998$; $R_{yx_4}=0,999$.

Устойчивая связь установлена и между аргументами $R_{x_2x_3}=0,878$; $R_{x_2x_4}=0,914$; $R_{x_3x_4}=0,995$. Почти отсутствует взаимосвязь между аргументами $R_{x_1x_2}=0,376$. Сравнительная оценка полученных данных расчетным путем и исходных показала, что разность очень близка к нулю, что говорит о хорошем описании полученной модели процесса.

Проведенный анализ зависимостей 3 и 4 с учетом технологических свойств позволил определить

оптимальный состав огнезащитной композиции для защиты металлических конструкций, % по массе:

асбестоцементные отходы	15-25
оксид цинка	7-8
шамотный песок	5-6

жидкое стекло
В дальнейшем огнезащитная композиция получила название ВЗП-1А.

Заключение

Исследования показали, что предлагаемые огнезащитные композиции относят к негорючим, не распространяющим пламя, что позволяет при их применении повысить безопасность эксплуатации металлических конструкций, увеличить безопасное время проведения аварийно-спасательных работ в случае возникновения экстремальных условий при пожаре.

Zybina O. A. Problemy adgezii ognезaschitnyh vspuchivayuschihya tonkosloynnyh pokrytiy po metallu / O. A. Zybina // Himicheskaya promyshlennost. — 2003. — N9. — S. 38—39.

6. Корольченко А. Я. Средства огнезащиты: справочник / А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с.

Korolchenko A. Ya. Sredstva ognезaschity: spravochnik / A. Ya. Korolchenko, O. N. Korolchenko. — M.: Pozhnauka, 2006. — 258 s.

7. Кривцов Ю. В. Безопасность энергетических объектов — широкое использование огнезащитных покрытий / Ю. В. Кривцов // Пожарная безопасность. — 2006. — № 2 — С. 132-134.

Krivtsov Yu. V. Bezopasnost energeticheskikh ob'ektov — shirokoe ispolzovanie ognезaschitnyh pokrytiy / Yu. V. Krivtsov // Pozhamaya bezopasnost. — 2006. — N2 — S. 132-134.

8. Мосалков И. Л. Огнестойкость строительных конструкций / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, А. Ю. Фролов. — М.: ЗАО «Спелтехника», 2011. — 496 с.

Mosalkov I. L. Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy / I. L. Mosalkov, G. F. Plyusnina, A. Yu. Frolov. — M.: ЗАО «Spetstehnika», 2011. — 496 s.

9. Roitman V. M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor.— First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts).— Zurich. ETH. 2005. — P. 135-136.

10. Grabner R. Halogenfreier Flammschutz auf Melaminbasis. // Kunststoffe.—2008. — № 11. — P. 2050-2052.

11. Dou H.S., Tsai H.U., Khoo B.Ch. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme // Comb. Flame. 2012. V. 154. P. 644-647.

12. Combustion Wave Propagation in H₂ – O₂ Mixtures. Basic Principles and Some Kinetic Aspects. Proceedings of European Seminar on Flame Structure / V.V. Azatyan [et al.]. Lund (Sweden). 2013. P. 5–8.

13. Cadorn J.F., Perez Jimenez C., Franssen J.M. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. University of Ulster, 2011. P. 547–557.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Баженов С. В. Определение срока службы огнезащитных покрытий по результатам натуральных и ускоренных климатических испытаний / С. В. Баженов, Ю. В. Наумов // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — № 6. — С. 59-67.

Bazhenov S. V. Opredelenie sroka sluzhby ognезaschitnyh pokrytiy po rezul'tatam naturnykh i uskorenykh klimaticheskikh ispytaniy / S. V. Bazhenov, Yu. V. Naumov // Pozharovzryvobezopasnost. — 2005. — N6. — S. 59-67.

2. Вахитова Л. Н. Армирование вспученного слоя огнезащитных покрытий / Л. Н. Вахитова, К. В. Калафат, М. П. Лапушкин, П. А. Фещенко // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2007. — № 7-8. — С. 81-85.

Vahitova L. N. Armirovanie vspuchennogo sloya ognезaschitnyh pokrytiy / L. N. Vahitova, K. V. Kalafat, M. P. Lapushkin, P. A. Feshchenko // Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye. — 2007. — N7-8. — S. 81-85.

3. Еремина Т. Ю. Нормирование качества огнезащитных вспучивающихся красок / Т. Ю. Еремина, Ю. Н. Дмитриева, М. В. Крашениникова // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2006. — № 11. — С. 8—11.

Eremina T. Yu. Normirovanie kachestva ognезaschitnyh vspuchivayuschihya krasok / T. Yu. Eremina, Yu. N. Dmitrieva, M. V. Krasheninnikova // Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye. — 2006. — N11. — S. 8—11.

4. Зайцев А. М. Методика расчета прогрева огнезащитных стальных конструкций в условиях воздействия экстремального температурного режима пожара / А. М. Зайцев // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — № 6. — С. 15-18.

Zaytsev A. M. Metodika rascheta progreva ognезaschishennykh stalnykh konstruksiy v usloviyah vozdeystviya ekstremalnogo temperaturnogo rezhima pozhara / A. M. Zaytsev // Pozharovzryvobezopasnost. — 2006. — N6. — S. 15-18.

5. Зыбина О. А. Проблемы адгезии огнезащитных вспучивающихся тонкослойных покрытий по металлу / О. А. Зыбина // Химическая промышленность. — 2003. — № 9. — С. 38—39.

Поступила в редколлегию 2.09.2015