

С.Ю. Рагимов, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
Д.В. Дяченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ (ГОРЮЧЕСТИ) ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

(представлено д-ром техн. наук Киреевым А.А.)

В статье рассмотрены подходы по оценке живучести строительных конструкций зданий и сооружений исходя из определения пожарнотехнических свойств применяемых материалов.

Ключевые слова: огнезащитные покрытия, строительные конструкции, пожарная опасность.

Постановка проблемы. Важнейшим элементом системы пожарной безопасности зданий и сооружений является огнезащита строительных конструкций. Она должна обеспечивать повышение огнестойкости конструкций до необходимого уровня, снижение их пожарной опасности, предотвращение развития и распространения пламени. Выполнение этих требований снижает вероятность гибели людей и материальные потери от пожаров. Главная цель различных способов огнезащиты строительных конструкций – максимально снизить скорость нагрева защищаемой поверхности, сохранив при этом на определенный период времени их прочностные характеристики.

Анализ последних исследований и публикаций. Основным нормативным документом Украины, который регламентирует методические подходы по проведению испытаний продукции на огнестойкость, является ДСТУ Б В.1.1_4_98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість». На основе этого стандарта были разработаны ряд методик испытаний на огнестойкость и функциональность в условиях огневого воздействия конкретных видов (типов) конструкций и изделий (EN 1365_3:1999, NEQ; EN 1364_1:1999, NEQ; EN 1366_1:1999, NEQ). Однако, в связи со стратегическим курсом страны на евроинтеграцию, возникает необходимость разработки методики проведения исследований по оценке пожарной опасности (горючести) огнезащитных покрытий с учетом европейских подходов и требований.

Постановка задачи и ее решение. Определение одной из важнейших характеристик пожарной опасности огнезащитных покрытий – горючести – в разных странах (а зачастую и в пределах одной страны) производится разными методами. Сложная иерархия применяемых методов создает серьезные трудности при сопоставлении получаемых по ним результатов. Зачастую оценки горючести одних и тех же материалов, полученные разными методами, не совпадают [1]. Таким образом, при разработке покрытий пониженной горючести существенным моментом явля-

ется выбор надежного метода оценки их характеристик.

В связи с этим, для проведения исследований по оценке пожарной опасности (горючести) огнезащитных покрытий предлагается следующая методика.

Для оценки горючести покрытий были использованы методы определения кислородного индекса, метод определения поведения пластмасс при контакте с раскаленным стержнем, термического анализа [1, 2].

Термический анализ проводился на дериватографе Ф. Паулик, Д. Паулик и Л. Эрдей [3], позволяющем регистрировать следующие характеристики: изменение массы (ТГ-кривые), скорость изменения массы (ДТГ) и скорость нагрева (Т). Дериватограммы снимались в интервале температур 303-873 К при скорости нагрева 10⁰/мин в атмосфере воздуха.

Пожарная опасность огнезащитных покрытий оценивалась по методикам, представленным в табл. 1.

Табл. 1. Методы оценки показателей пожарной опасности огнезащитных покрытий

| Naimenovanie pokazatelya | Стандарт |
|---|-----------------------|
| Кислородный индекс | ГОСТ 12.1.044, п.4.14 |
| Коэффициент дымообразования | ГОСТ 12.1.044, п.4.18 |
| Группа горючих и трудногорючих твердых материалов | ГОСТ 12.1.044, п.4.3 |
| Средства огнезащиты для древесины | ГОСТ 16363-98 |
| Показатель токсичности продуктов горения | ГОСТ 12.1.044, п.4.20 |
| Теплота сгорания твердых веществ и материалов | ГОСТ 21261, ISO 1716 |

Особое значение при применении огнезащитных композиций для защиты строительных конструкций от огня и коррозии приобретают технологические свойства составов на стадии их нанесения на защищаемую поверхность, поэтому, очень важна вязкость огнезащитной композиции.

Динамическая вязкость исходных компонентов в исследуемых составах определялась методом ротационной вискозиметрии, позволяющий количественно оценить влияние различных добавок на технологические свойства материала, рассчитать технологический цикл, выбрать оптимальный режим отверждения.

Вязкость составов измерялась при помощи ротационного вискозиметра «Реотест-2» с рабочим узлом цилиндр-цилиндр. Расчет технологических параметров проводился по формуле

$$\tau = z \cdot \lambda, \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение; z – константа цилиндра; λ – значение, отсчитанное со шкалы индикаторного прибора (деления шкалы).

Падение скорости в кольцеобразном зазоре характеризует градиент напряжения на срез (скорость деформации) D_r . Градиент напряжения на срез указан в удостоверении к прибору для частоты сети $\nu_c=50$ Гц. Отклонения частоты сети от этого значения уточняют по формуле

$$D_{rk} = \frac{D_r \cdot v_c}{50}, \quad (2)$$

где D_{rk} – уточняющий градиент напряжения на срез; D_r – градиент напряжения на срез, взятый из удостоверения к прибору.

Из измеренного касательного напряжения τ и градиента напряжения на срез D_{rk} рассчитывали динамическую вязкость η :

$$\eta = \frac{\tau}{D_{rk}}, \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость; τ – касательное напряжение.

Изменение структуры компонентов огнезащитных композиций изучали методом термомеханического анализа.

Исследования проводили на консистометре Хепплера при одноосном сжатии под нагрузкой 50 Н. Скорость нагрева – 1,5-2 К/мин. Испытания осуществлялись на цилиндрических образцах диаметром и высотой 10 мм. Измерялась деформация, которая развивается при нагревании образца.

По данным термомеханических исследований определялся равновесный модуль высокоэластичности E_∞ и молекулярную массу фрагмента цепи между узлами сетки (M_c) следующим образом [4]: считывались термомеханические кривые в интервале температур, обеспечивающем выявление плато высокоэластической деформации, и определялась температура выхода образца в высокоэластическое состояние. При температуре на 293 К выше температуры выхода в высокоэластическое состояние образец термостатировался 20-30 мин и затем подвергался нагрузке 30-60 Н.

Считывались соответствующие приложенным нагрузкам величины высокоэластической деформации и по полученным данным были построены зависимости $\sigma=f(\varepsilon)$, где σ – напряжение, ε – относительная деформация.

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (4)$$

где P – нагрузка; F – площадь образца; σ – напряжение.

Модуль высокоэластичности рассчитывали по формуле

$$E_\infty = \frac{\sigma}{\varepsilon_\infty} \cdot 100, \quad (5)$$

где E_∞ – равновесный показатель высокоэластичности; σ – напряжение; ε_∞ – величина относительной деформации в высокоэластическом состоянии.

Величина M_c рассчитывалась по уравнению методом Уолла [5]

$$M_c = \frac{3\rho RT_{вэ}V}{E_\infty}, \quad (6)$$

где M_c – молекулярная масса фрагмента цепи между узлами сетки; E_∞ – равновесный модуль высокоэластичности; ρ – плотность полимера; R – универсальная газовая постоянная; $T_{ВЭ}$ – температура выхода в высокоэластическое состояние; ν – структурный коэффициент, зависящий от природы и топологии сетки.

Одним из факторов, влияющих на адгезионное взаимодействие, а также на равномерность распределения вещества на подложке, является смачивание. Краевой угол смачивания определялся по параметрам малой капли, лежащей на плоскости [6]. Поверхность твердого субстрата обезжиривался кипячением в течение 30 мин в ацетоне и четыреххлористом углероде. Размеры капли композиции, нанесенной на обезжиренную поверхность подложки, измерялись с помощью катетометра. Точность замера краевых углов составила $2,5^\circ$. Расчет краевого угла смачивания проводился по формуле для сферической головки при $\theta < 90^\circ$:

$$\cos \theta = (r^2 - h^2) / (r^2 + h^2), \quad (7)$$

где r – радиус капли; h – максимальная высота капли.

Физико-механические свойства, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и микробиологическая устойчивость огнезащитных покрытий определялась по стандартным методикам, приведенным в табл. 2.

Для определения закономерностей изменений свойств огнезащитных покрытий от состава и соотношения компонентов, а также для оптимизации исследуемых композиций использовали полнофакторный эксперимент (ПФЭ). Оптимальный состав огнезащитной композиции оценивался значением какого-либо из ее свойств, выбранного в качестве выходной переменной [7].

Табл. 2. Физико-механические свойства, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и микробиологическая устойчивость огнезащитных покрытий

| Наименование показателя | Стандарт |
|---|--|
| Разрушающее напряжение: при сжатии при изгибе по Динстату при равномерном отрыве | ГОСТ 4651-82 ГОСТ 17036-71 ГОСТ 14760-69 |
| Ударная вязкость по Динстату | ГОСТ 4647-80 |
| Истираемость | ГОСТ 11012-69 |
| Водопоглощение | ГОСТ 4650-80 |
| Стойкость к действию химических сред | ГОСТ 12020-72 |
| Твердость пленки по маятниковому прибору М-3 | ГОСТ 5233-89 |
| Устойчивость к ультрафиолетовому излучению (условная светостойкость) | ГОСТ 21903-76 |
| Биоцидные свойства | ГОСТ 9.48-9.049-75 |
| Фотоэлектрический метод определения блеска | ГОСТ 896-69 |
| Оценка срока службы покрытий | ГОСТ 9.045-75 |

Задача исследования состояла в определении и анализе y как функции от следующих факторов

$$y = f(C_A, C_B), \quad (8)$$

где y – значение свойства огнезащитной композиции; C_A, C_B – содержание компонентов в огнезащитном составе.

Уравнения регрессии, описывающие свойства огнезащитных композиций в зависимости от компонентного состава

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{j=1, i \neq j}^n b_{ij} \cdot x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (9)$$

Интервал варьирования выбирался в соответствии с существующей априорной информацией, а также на основании данных, полученных в ходе предварительного эксперимента. Кодирование факторов осуществлялось по формуле

$$x_i = \frac{x_i - x_i^0}{h_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (10)$$

где x_i^0 – основной уровень i -го фактора; h_i – интервал варьирования того же фактора.

После проведенных подсчетов были получены коэффициенты регрессии.

Для проверки значимости полученного коэффициента регрессии находили его дисперсию по формуле

$$S_{(bj)}^2 = \frac{S_{(y)}^2}{n}, \quad \text{где } S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^m (y_{iq} - y_i)^2}{n \cdot (m-1)}, \quad (11)$$

Принято считать, что коэффициент регрессии значимый, если выполняется условие

$$|b| \geq S_b \cdot t, \quad (12)$$

где t – значение критерия Стьюдента.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по методу наименьших квадратов. Для определения связи между величинами рассчитывались коэффициенты парной или множественной корреляции.

Выводы. Предложена методика для проведения исследований по оценке пожарной опасности (горючести) огнезащитных покрытий. Как следует из проведенного анализа, методические подходы при оценке

живучести строительных конструкций исходят из определения пожарно-технических свойств применяемых материалов и не в полной мере учитывают конструктивные особенности строительных конструкций. Поэтому задача оценки состояния строительных конструкций после пожара обязательно должна включать возможные изменения несущей способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартелеми В. Огнестойкость строительных конструкций: Пер. с франц. / Бартелеми В., Крюппа Ж. – М.: Стройиздат, 1985.- 216 с.
2. Воробьев В.А. Горючесть полимерных строительных материалов. / Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. – М.: Стройиздат, 1978. – 226 с.
3. Paulik F. Derivatography. A complex method in thermal analyses. / Paulik F., Paulik K., Edrey L. – Ajanta, 1966, vol. 13, N10 – P. 1405-1430.
4. Парамонов Ю.М. Термомеханический анализ трехмерных эпокси-полимеров / Ю.М. Парамонов, Д.С. Вашевко, В.Н. Артемов, М.К. Пактер // Реакционноспособные олигомеры, полимеры и материалы на их основе. – М.: НИИТЭХИМ, 1981. – С. 37-45.
5. Нечипоренко А.П. Исследование кислотности твердых поверхностей методом рН-метрии / А.П. Нечипоренко, А.И. Кудряшова // Ж. прикл. химии. – 1987. – №9. – С. 1957-1961.
6. Бабушкин В.И. Влияние активных поверхностных центров на прочность свежееотформованных мелкозернистых бетонов / В.И. Бабушкин, А.А. Плугин, Т.А. Костюк, В.А. Матвиенко // Наук. вісн. буд-ва. – Харків: ХДТУБА, 1999. – №5. – С.85-88.
7. Браунли К.А. Статическая теория и методология в науке и технике / Браунли К.А. – М.: Наука, 1977. – 408 с.

С.Ю. Рагімов, Д.В. Дяченко

Методика проведення досліджень по оцінці горючості і пожежної небезпеки вогнезахистних покриттів

У статті розглянуто методичні підходи з оцінки живучості будівельних конструкцій будівель і споруд виходячи з визначення пожежно-технічних властивостей застосовуваних матеріалів.

Ключові слова: вогнезахисні покриття, будівельні конструкції, пожежна небезпека.

S.U. Ragimov, V.D. Dyachenko

The methodology of the study aimed at assessing the state of structures and materials from which they are made with the use of special coatings

In the article the methodological approaches to assess the viability of construction of buildings and structures on the basis of determining the fire technical properties of the materials used.

Keywords: fire resistance, metal structures, fire hazard.