

УДК 699.81:614.84:536.21

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРАВЛЕННЫХ  
НА ОЦЕНКУ СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И  
МАТЕРИАЛОВ ИЗ КОТОРЫХ ОНИ ИЗГОТОВЛЕНЫ ПРИ  
ПРИМЕНЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ****д.т.н., проф. А.С. Беликов<sup>\*</sup>, к.т.н., доц. В.А. Шаломов<sup>\*</sup>,  
сонск. Е.А. Широкова<sup>\*</sup>, к.т.н. С.Ю. Рагимов<sup>\*\*</sup>, ст. преп. Ю.Ф. Стапенко<sup>\*\*\*</sup>***<sup>\*</sup> Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,**<sup>\*\*</sup> Национальный университет гражданской защиты Украины,**<sup>\*\*\*</sup> Днепропетровский государственный аграрный университет*

**Актуальность.** Безопасная эксплуатация строительных материалов и конструкций зависит от многих факторов и, прежде всего, влияния среды. Строительные конструкции заранее на стадии проектирования рассчитываются на определенные условия работы их принимают за расчетные, а затем на эксплуатационные. Проведя анализ технической литературы при разработке огнезащитных покрытий необходимо проведение исследований по оценке их горючести и пожарной опасности, а также изучение структуры технологических и эксплуатационных свойств.

**Основная часть.** При разработке покрытий пониженной горючести существенным моментом является выбор надежного метода оценки их горючести. Для оценки 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 10<sup>0</sup>/мин в атмосфере воздуха. Чувствительность: ДТГ – 1/10; ТГ – 200 мг.

Пожарная опасность огнезащитных покрытий оценивалась по стандартным методикам, которые представлены в табл. 1.

Особое значение при применении огнезащитных композиций для защиты строительных конструкций от огня и коррозии приобретают на практике 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 отверждающихся составов измерялась при помощи ротационного вискозиметра «Реотест-2» с рабочим узлом цилиндр-цилиндр. Расчет технологических параметров проводился по формулам:

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

где:  $\tau$  – касательное напряжение, Па;  $z$  – константа цилиндра;  $\lambda$  – значение, отсчитанное со шкалы индикаторного прибора (деления шкалы).

Таблица 1

| Методы оценки показателей пожарной опасности огнезащитных покрытий | Стандарт              |
|--|-----------------------|
| Виды испытаний   | ГОСТ 12.1.044, п.4.14 |
| Кислородный индекс   | ГОСТ 12.1.044, п.4.18 |
| Коэффициент дымообразования  | ГОСТ 12.1.044, п.4.3  |
| Группа горючих и трудногорючих твердых материалов                  | ГОСТ 16363-98         |
| Средства огнезащиты для древесины                                  | ГОСТ 12.1.044, п.4.20 |
| Показатель токсичности продуктов горения                           | ГОСТ 21261, ISO 1716  |
| Теплота сгорания твердых веществ и материалов                      |                       |

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  $\nu=50$  Гц. Отклонения частоты сети от этого значения уточняют по формуле:

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

где:  $D_{rk}$  – уточняющий градиент напряжения на срез,  $c^{-1}$ ;  $D_r$  – градиент напряжения на срез, взятый из удостоверения к прибору  $c^{-1}$ ;  $\nu_c$  – частота сети, Гц.

Из измеренного касательного напряжения  $\tau$  и градиента напряжения на срез  $D_{rk}$  рассчитывали динамическую вязкость  $\eta$ :

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

где:  $\eta$  – динамическая вязкость, Па\*с;  $\tau$  – касательное напряжение, Па.

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. Изменялась деформация, которая развивается при нагревании образца.

По данным термомеханических исследований определялся равновесный модуль высокоэластичности  $E_\infty$  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  $\sigma$  - напряжение,  $\varepsilon$  - относительная деформация.

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

где: P – нагрузка, Н; F – площадь образца, м<sup>2</sup>;  $\sigma$  – напряжение, МПа  
Модуль высокоэластичности рассчитывали по формуле:

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

где:  $E_{\infty}$  – равновесный показатель высокоэластичности, МПа;  $\sigma$  - напряжение, МПа;  $\varepsilon_{\infty}$  – величина относительной деформации в высокоэластическом состоянии, %.

Величина  $M_c$  рассчитывалась по уравнению методом Уолла [5]:

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

где:  $M_c$  – молекулярная масса фрагмента цепи между узлами сетки, кг/моль;  $E_{\infty}$  – равновесный модуль высокоэластичности, МПа;  $\rho$  – плотность полимера, кг/м<sup>3</sup>; R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль\*К;  $T_{BЭ}$  – температура выхода в высокоэластическое состояние, К;  $\nu$  - 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°, 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 свойства, выбранного в качестве выходной переменной [7].

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.

Таблица 2

| Наименование показателя  | Стандарт           |
|--|--------------------|
| Разрушающее напряжение:  |                    |
| при сжатии   | ГОСТ 4651-82       |
| при изгибе по Динстату   | ГОСТ 17036-71      |
| при равномерном отрыве   | 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      |

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 в кодированных координатах и появилась необходимость в дальнейших расчетах по переводу коэффициентов регрессии в естественные координаты.

Чтобы устранить этот недостаток, программа была проведено дополнение, позволившее получать уравнения регрессии, готовые для использования на практике.

Для проверки значимости полученного коэффициента регрессии находили его дисперсию по формуле:

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

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.

**Заключение.** 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 при осуществлении оценки состояния строительных конструкций после пожара должна включать и возможные изменения несущей способности.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

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