

УДК 678.7:69.059.22:614.84

А.В. ПЧЕЛЬНИКОВ, А.П. ПИЧУГИН, В.Ф. ХРИТАНКОВ, Е.А. ВОЛОБОЙ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ
ГОРЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрены методы оценки полимерсодержащих лакокрасочных составов для защиты металлических конструкций и оборудования при возгорании от пожаров с целью возможного регулирования огнестойкости за счет добавок направленного действия. На основе многочисленных публикаций и научно-технической информации выбраны параметры специальной камеры для изучения стойкости и сопротивляемости материалов огневому воздействию. Определена методика исследований горючести и фиксации момента воспламенения защитных покрытий на специально изготовленной установке, позволившей фиксировать время, температуру и расстояние огневого потока до лакокрасочного покрытия. Отработан механизм получения достоверной информации о состоянии покрытия при воздействии огня по различным параметрам, что позволило адаптировать ранее разработанные формулы для теоретического определения стойкости лакокрасочных составов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: лакокрасочные композиции, пожары, огнезащита, огнестойкость, металлические конструкции, оборудование предприятий.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-738-6-81-90

Ежегодно крупные пожары в различных районах России имеют тенденцию к расширению. Так, в 2019 г. в Забайкалье масштабные природные пожары охватили 17 населенных пунктов. Повреждены более 150 домов, сотни единиц различной техники и оборудования, пострадали свыше 600 человек. Ущерб, нанесенный только агропромышленному комплексу Забайкалья природными пожарами, по предварительным подсчетам, составляет более миллиарда рублей. Ежегодно в стране на сельскохозяйственные объекты приходится от 3 до 4 тысяч крупных пожаров.

Таким образом, актуальность поднимаемой проблемы действительно высока и требует скорейшего решения. Исходя из изученных источников, можно сделать вывод, что при оценке огнестойкости лакокрасочных покрытий (ЛКП) необходимо учитывать несколько показателей [1, 2]:

- температуру дымовых газов;
- продолжительность самостоятельного горения;
- степень повреждения по длине;
- степень повреждения по массе;
- температуру воспламенения;
- температуру вспышки.

Классические лакокрасочные покрытия, применяемые в сельском хозяйстве, имеют температуру воспламенения и вспышки 100–120 °С. Основными причинами пожаров в сельской местности являются:

- 1) неосторожное обращение с открытым огнем; курение в неотведенных местах вблизи горючих или легковоспламеняющихся материалов, складов горючесмазочных материалов, зерна, сена, соломы и т.д.;

2) неисправности в работе электрических сетей, нарушение правил безопасности при их эксплуатации;

3) нарушение правил безопасности при эксплуатации нагревательных и осветительных приборов;

4) возгорание от искр, вылетающих из выхлопных труб двигателей транспортных средств, не оборудованных искрогасителями, при производстве строительного-монтажных и ремонтных работ, в том числе сельскохозяйственных машин;

5) возгорание соломенной массы, попавшей на нагретый коллектор двигателя, при утечке горючесмазочных материалов через неплотности в топливных системах и других неисправностях в работе машин и механизмов;

6) нарушение правил безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации зданий, технологического оборудования, отопительных, вентиляционных и энергетических систем.

Большинство из перечисленных причин носят организационный характер, однако, если использовать негорючие материалы и проводить регулярно защитные мероприятия, можно существенно снизить риски возгорания и предотвратить материальные потери от пожаров. Одним из реальных способов снижения горючести металлических конструкций и технологического оборудования является использование лакокрасочных композиций с добавками направленного действия, обеспечивающими сопротивляемость огневому воздействию.

Действующий в настоящее время ГОСТ 30244–94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» (метод II) предусматривает следующую последовательность операций при испытаниях. Подготовленные четыре вертикально ориентированных образца материала размером 1000×190 мм закрепляют в специальном держателе и подвергают воздействию газовой горелки в течение 10 мин. В процессе испытаний регистрируют температуру отходящих газов и время самостоятельного горения образцов, после проведения испытаний – степень повреждения по длине и массе образцов. Горючие строительные материалы в зависимости от значения параметра горючести подразделяют на четыре группы: Г1, Г2, Г3, Г4 с ранжированием по температуре дымовых газов от 135 до 450 °С с учетом определенной степени повреждения покрытия по длине и массе [3]¹.

Горючесть – свойство материала воспламеняться и поддерживать горение. Горючие материалы характеризуются температурой вспышки и способностью гореть в отсутствие кислорода воздуха. Все строительные материалы, к которым относятся и лакокрасочные материалы, классифицируются по горючести.

Строительные материалы подразделяются на **негорючие (НГ)** и **горючие (Г)**.

Горючие материалы по **горючести** подразделяются на четыре группы:

Г1 (слабо горючие), Г2 (умеренно горючие), Г3 (нормально горючие), Г4 (сильно горючие). По **воспламеняемости выделяют** три группы: В1 (трудновоспламеняемые), В2 (умеренновоспламеняемые), В3 (легковоспламеняемые). По **распространению пламени по поверхности** подразделяются на

¹ Международный кодекс по применению процедур испытания на огнестойкость 2010 года (Кодекс ПИО 2010). СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2011. 560 с.

четыре группы: РП1 (нераспространяющие), РП2 (слабораспространяющие), РП3 (умереннораспространяющие), РП4 (сильнораспространяющие). По **дымообразующей способности выделяют** три группы: Д1 (с малой дымообразующей способностью), Д2 (с умеренной дымообразующей способностью), Д3 (с высокой дымообразующей способностью). По **токсичности продуктов горения** подразделяются на четыре группы: Т1 (малоопасные), Т2 (умеренноопасные), Т3 (высокоопасные), Т4 (чрезвычайно опасные).

Данный метод рекомендован для однородных однослойных строительных материалов. При использовании многослойных материалов оценку следует производить послойно для каждого слоя.

При испытании должны быть зафиксированы следующие показатели по каждому образцу:

- масса образца до испытания m_n , г;
- масса образца после испытания m_k , г;
- начальная температура печи $T_{п.н}$, °С;
- максимальная температура печи $T_{п.м}$, °С;
- конечная температура печи $T_{п.к}$, °С;
- максимальная температура в центре образца $T_{ц.м}$, °С;
- конечная температура в центре образца $T_{ц.к}$, °С;
- максимальная температура поверхности образца $T_{п.о.м}$, °С;
- конечная температура поверхности образца $T_{п.о.к}$, °С;
- продолжительность устойчивого пламенного горения образца t_r , с.

На практике при использовании данного метода возникает ряд недоработок и неточностей. Так, неопределимым остается расстояние, безопасное от огня до защитных покрытий, максимальная термостойкость и огнестойкость защитных покрытий в условиях фронтального или обтекаемого потока огня, невозможность определения температур воспламенения и самовоспламенения материалов, точное время вспышки лакокрасочного материала и влияние антипиренов и других добавок на огнестойкость покрытия.

Поскольку лакокрасочные материалы не только повышают горючесть, но и способствуют более быстрому распространению пламени по поверхности, увеличивают дымообразование и токсичность, вопросы, связанные с оценкой их пожароопасных характеристик, являются весьма актуальными. Известные устройства весьма ограничены в определении вышеперечисленных показателей и позволяют определять, как правило, один-два показателя горючести, являются дорогостоящими и сложны в изготовлении. Также малое количество устройств позволяет испытывать защитные покрытия.

Например, установка для испытания строительных материалов на горючесть «ОГНМ» (ГОСТ 30244–94. Метод 1) применяется для исследования однородных и слоистых строительных материалов толщиной не менее 50 мм. В качестве однородных испытывают древесину, пенопласт, полистиролбетон, древесно-стружечные плиты и др., слоистых – гипсокартонные листы, бумажно-слоистые пластики, однородные материалы с огнезащитной обработкой. Недостатками данного устройства являются невозможность испытания защитных покрытий, сложность в изготовлении, большие габаритные размеры, высокая стоимость.

Известна установка для испытания строительных материалов на горючесть «ШП» (ГОСТ 30244–94. Метод 2), используемая для однородных и

слоистых горючих строительных материалов, в том числе ЛКП. Основные недостатки установки: невозможность определения температур воспламенения и самовоспламенения материалов, большие габаритные размеры, высокая стоимость.

Установка для определения температуры воспламенения и самовоспламенения твердых веществ и материалов «ОТП» ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.7, 4.9) предназначена для экспериментального определения температуры воспламенения твердых веществ и материалов. Принцип работы установки основан на задании температурного режима в реакционной камере и воздействии пламени горелки, контроле температурных показателей после внесения в реакционную камеру исследуемого материала. Недостатками установки являются возможность измерения только одного показателя – воспламенение, большие габаритные размеры, сложность в изготовлении, высокая стоимость.

Таким образом, для повышения информативности испытаний на горючесть защитных покрытий следует разработать новый комплексный метод, включающий перечень различных показателей, характеризующих горючесть и огнестойкость защитных покрытий металлических поверхностей. С этой целью была разработана установка, содержащая передвижной механизм с испытательным образцом. Для перемещения передвижного механизма, параллельно камере горения, закреплена термотрубка, через которую осуществляется подвод в зону расположения испытательного образца термопары. За счет вращения поворотной площадки передвижного механизма испытательный образец может изменять положение относительно направления подачи пламени горелкой.

Такая установка за счет своих конструктивных отличий является универсальной и позволяет определять большее количество показателей горючести защитных покрытий по сравнению с известными устройствами. Определяемые показатели: температура дымовых газов, продолжительность самостоятельного горения/тления, длина повреждения образца, масса образца до

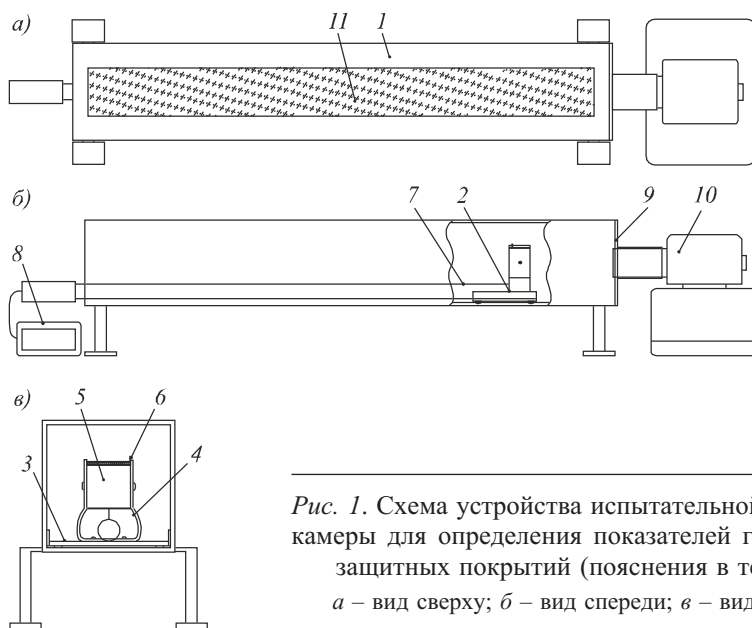


Рис. 1. Схема устройства испытательной рабочей камеры для определения показателей горючести защитных покрытий (пояснения в тексте)
а – вид сверху; б – вид спереди; в – вид сбоку

и после испытания, температура воспламенения/самовоспламенения, расстояние до источника огня. И, самое главное, на этой установке можно исследовать влияние антипиренов и добавок направленного действия на воздействие огня и высоких температур, так как она подсоединена к компьютеру и на его экране могут быть зафиксированы все температурные и световые параметры происходящих процессов.

На рис. 1 представлена схема испытательной рабочей камеры, а на рис. 2 – фотография всей установки, включающей рабочую камеру с механизмом подачи и термодатчиками; баллоном для газовой горелки, электронным пирометром и компьютером.

Предлагаемое устройство состоит из камеры горения 1, зафиксированной на опорах. С одной стороны внутри камеры горения 1 установлен передвижной механизм 2, состоящий из платформы 3, закрепленном на ней держателе 4, в котором находится поворотная площадка 5, к которой фиксируется испытательный образец и термодатчик 6. С противоположной стороны термотрубки 7 от передвижного механизма 2 расположен датчик измерения температуры 8. Кроме того, термодатчики расположены равномерно по всей длине камеры горения с выводом на электронный блок для оперативной фиксации. С обратной стороны камеры горения 2 на ее торец прикреплена крышка 9, через отверстие которой устанавливается горелка 10. В верхней части камеры горения 1 закреплено термостекло 11 для фиксации электронным пирометром момента воспламенения и самовоспламенения испытываемого покрытия, а также секундомер для определения продолжительности его горения. Также камера горения снабжена миллиметровой стальной линейкой для точного отсчета расположения образца от пламени.

Предлагаемая установка работает следующим образом. Зажигается горелка 10, устанавливается расход газа (л/мин), обеспечивающий в камере горения 1 равномерный прогрев, с постепенным уменьшением температуры по длине камеры. На поворотную площадку 5 передвижного механизма 2 устанавливается испытательный образец и фиксируется держателем 4. За счет вращения поворотной площадки 5 образец может изменять положение относительно направления подачи пламени горелкой 10. Передвижной механизм 2 с испытательным образцом устанавливается внутри камеры горения 1 на определенное расстояние до пламени горелки 10. Затем включается секундомер, отсчитывается время до воспламенения/самовоспламенения испытываемого покрытия. В момент воспламенения/самовоспламенения покрытия фиксируется значение температуры в зоне горения (температура дымовых газов/пламени) на датчике измерения температуры 8, изме-

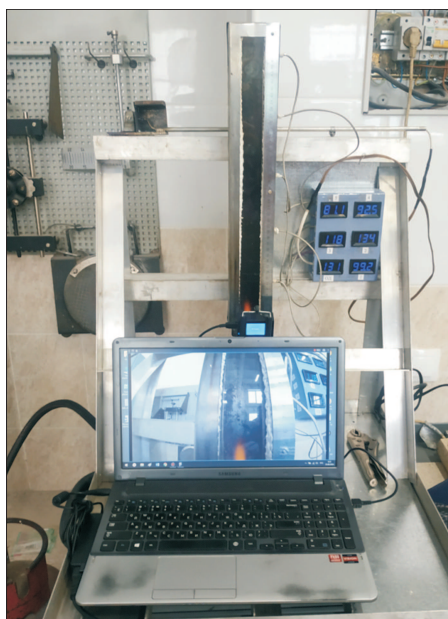


Рис. 2. Общий вид установки

ряется расстояние до источника пламени, продолжительность самостоятельного горения испытываемого покрытия. После остывания образца и снятия его с поворотной площадки 5 определяется потеря массы образца и длина его повреждения. При невоспламенении образца на заданном расстоянии образец перемещается ближе к источнику огня и испытание повторяют.

На данной установке можно проводить испытания различных защитных покрытий, используемых во многих отраслях промышленности. В качестве примера в таблице приведены показатели горючести, температуры воспламенения и потеря массы ЛКП на основе акриловых эмалей с добавками антипиренов при огневом воздействии – гидроксид магния (ГМ) и гидроксид алюминия (ГА).

Кроме указанных в таблице показателей, фиксировались все физико-механические и физико-химические свойства защитных композиций по действующим и общепринятым методикам [4–8].

Для проверки адекватности предлагаемой установки теоретическим представлениям в области горючести полимерсодержащих материалов были осуществлены теоретические расчеты по определению возможных вариантов возгорания ЛКП по формулам из [9, 10], которые показали достаточно высокую сходимость теоретических данных с практическими величинами термостойкости и огнестойкости полимерсодержащих покрытий.

Для теоретического обоснования процесса горения полимерсодержащих ЛКМ была адаптирована модель горения, основанная на балансе теплового потока и массовой скорости горения (V_m) в критической точке воспламенения и тушения, с учетом потерь тепла в окружающую среду (q_s) и значений конвекционного теплопереноса (q_k) к поверхности материала от пламени [9, 10]

$$Q_k = \frac{(nQ_c - q_f)h \ln\left(1 + \frac{A}{n}Q_c\right)}{c} + q_a - q_s, \quad (1)$$

где Q_c – теплота сгорания горючего компонента в полимерных материалах;
 n – массовая доля полного сгорания;
 q_f – теплота образования единицы массы горючих продуктов деструкции;
 h – коэффициент конвекционного теплопереноса к поверхности в отсутствие массопереноса;
 q_a – теплота, получаемая поверхностью другими путями от окружающей среды.

$$A = \frac{[O_2]_m h (T_o - T_{пов})}{(r + c)},$$

где $[O_2]_m$ – массовая концентрация кислорода в воздухе;
 r – стехиометрическое массовое отношение кислорода к сгораемой части полимерных материалов;
 c – удельная теплоемкость газа;
 T_o – температура окружающей среды;
 $T_{пов}$ – температура поверхности полимерного материала во время горения.

Для получения лакокрасочного полимерсодержащего невоспламеняющегося материала необходимо, чтобы $Q_k < 0$ и $q_k > nQ_c$, что может

Результаты испытания лакокрасочного покрытия на возгораемость

Номер образца	ЛКП и антипирен	Время сопро- тивления, с	Продолжи- тельность горения, с	Температура воспламенения, °С	Средняя температура, °С	Толщина покрытия, мкм	Масса образца, г		Потеря массы образца, г	Площадь образца, см ²
							до испы- тания	после испытания		
1.1	АК-эмаль	15	1,1	137	128	136	2,160	2,140	0,020	4
1.2	АК-эмаль	12	1,2	123		164	2,165	2,135	0,030	4
1.3	АК-эмаль	18	1,5	125		125	2,125	2,100	0,025	4
2.1	АК+5 % ГА	22	3,8	140	140	130	2,265	2,240	0,025	4
2.2	АК+5 % ГА	24	3,4	139		122	2,065	2,040	0,025	4
2.3	АК+5 % ГА	23	3,6	140		124	2,270	2,245	0,025	4
3.1	АК+10 % ГА	20	6,2	137	140	100	2,100	2,075	0,025	4
3.2	АК+10 % ГА	23	6,5	146		115	2,440	2,405	0,035	4
3.3	АК+10 % ГА	21	6,3	137		100	2,205	2,180	0,025	4
4.1	АК+20 % ГА	22	10,1	113	240	130	2,015	1,980	0,035	4
4.2	АК+20 % ГА	51	9,3	270		130	2,100	2,065	0,035	4
4.3	АК+20 % ГА	43	3,5	209		170	2,305	2,265	0,040	4
5.1	АК+5 % ГМ	22	9,2	130	139	130	2,080	2,055	0,025	4
5.2	АК+5 % ГМ	20	15,6	148		150	2,090	2,060	0,030	4
5.3	АК+5 % ГМ	23	10,6	175		118	2,165	2,145	0,020	4
6.1	АК+10 % ГМ	15	8,2	97	168	97	2,110	2,080	0,030	4
6.2	АК+10 % ГМ	27	8,4	152		140	2,135	2,120	0,015	4
6.3	АК+10 % ГМ	30	8,3	184		115	2,150	2,145	0,015	4
7.1	АК+20 % ГМ	24	4,2	130	134	113	2,300	2,270	0,030	4
7.2	АК+20 % ГМ	26	6,1	133		127	2,120	2,090	0,030	4
7.3	АК+20 % ГМ	25	5,8	140		124	2,165	2,140	0,025	4

иметь место при высоких значениях q_f и q_s . Отношение Q_c/q_f становится фактором, определяющим скорость выделения тепла при горении. Хотя уравнение точки зажигания не связано прямо с процессом распространения пламени, можно написать его критерии в виде $Q_k > 0$ и $q_k < nQ_c$. Тогда полное количество тепла Q в единицу времени, поступающее на единицу ширины слоя перед фронтом пламени, можно представить в виде

$$Q = \int_{-\infty}^0 q_r d_x + \int_{-\infty}^0 q_n d_x + Q_1 - \int_{-\infty}^0 q_T d_x - \int_{-\infty}^0 q_f d_x - \int_{-\infty}^0 q_c d_x, \quad (2)$$

где q_r – перенос тепла вследствие проводимости через газовую фазу;
 q_n – теплота излучения от пламени;
 Q_1 – теплота, передаваемая в единицу времени единице ширины негорящего материала через сечение слоя у фронта пламени;
 q_T – теплота излучения от поверхности материала в окружающую среду;
 q_f – теплота пиролиза и парообразования топлива;
 q_c – потери от материала в окружающую среду вследствие конвекции и теплопроводности;
 x – расстояние от фронта пламени.

Учитывая тот факт, что предлагаемая установка для определения горения ЛКМ имеет достаточную теплоизолирующую способность, некоторые компоненты формулы (2), например, q_T и q_c могут иметь нулевые или близкие к нулю значения. Тогда данная формула будет преобразована в более простой вариант, что существенно упростит весь расчет

$$Q = \int_{-\infty}^0 q_r d_x + \int_{-\infty}^0 q_n d_x + Q_1. \quad (3)$$

Все получаемые на предлагаемой установке показатели дают возможность использовать данную формулу для предварительного теоретического расчета теплового баланса и обеспечения условий по невозгораемости защитного полимерсодержащего покрытия в широком диапазоне антипиренов и добавок направленного действия.

Заключение. Проведение испытаний и исследований на предлагаемой установке по определению результатов сопротивляемости огневому воздействию защитных полимерсодержащих покрытий (горючести, температуры воспламенения, потере массы и др.) с добавками направленного действия создает благоприятные условия для анализа состояния и оценки материалов на разных стадиях тепловых и огневых факторов, что отвечает требованиям действующих нормативных актов. Это, в свою очередь, содействует разработке рекомендаций по созданию защитных покрытий, способных противостоять пожарам и действию высоких температурных факторов в эксплуатационных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «Спецтехника», 2001.
2. Ройтман М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле / под ред. Н.А. Стрельчука: Учебник для слушателей ВИПТШ МВД СССР. М.: ВИПТШ, 1975. 526 с.
3. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 14 с.
4. Гвоздева О.Н. Огнезащитные составы на основе жидкого стекла и расширяющегося графита // Строительные материалы. 2004. № 4. С. 33–35.
5. Страхов А.В., Тимохин Д.К., Иващенко Ю.Г., Страхова В.Н. Перспектива разработки огнезащитных составов на основе местного сырья // Физико-химические процессы в строительном материаловедении: Сб. науч. тр. Междунар. науч. конф. НГАУ, РАЕН. Новосибирск, 2018. С. 207–210.

6. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия. 1978. 330 с.
7. Тейтельбаум Б.Я. Термомеханический анализ полимеров. М.: Наука, 1979. 236 с.
8. Книгина Г.И., Тацки О.Н., Кучерова Э.А. Современные физико-химические методы исследования строительных материалов. Новосибирск, 1981. 82 с.
9. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов: Моногр. М.: Стройиздат, 1978. 225 с.
10. Андрианов Р.А. Разработка методов снижения горючести полимерных строительных материалов с сохранением основных эксплуатационных показателей: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1979. 34 с.

Пчельников Александр Владимирович, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: gmunsau@mail.ru

Новосибирский государственный аграрный университет

Пичугин Анатолий Петрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gmunsau@mail.ru

Новосибирский государственный аграрный университет

Хританков Владимир Федорович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gmunsau@mail.ru

Новосибирский государственный аграрный университет

Волобой Егор Алексеевич, асп.; E-mail: gmunsau@mail.ru

Новосибирский государственный аграрный университет

Получено 18.05.2020

Pchelnikov Alexander Vladimirovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: gmunsau@mail.ru

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Pichugin Anatoliy Petrovich, DSc, Professor; E-mail: gmunsau@mail.ru

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Khritankov Vladimir Fedorovich, DSc, Professor; E-mail: gmunsau@mail.ru

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Voloboy Egor Alekseevich, Post-graduate Student; E-mail: gmunsau@mail.ru

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

PROCESS MODELING AND EVALUATION METHODS GORENJE PROTECTIVE COATINGS OF METAL STRUCTURES AND EQUIPMENT

The article considers methods for evaluating polymer-containing paint and varnish compositions for the protection of metal structures and equipment in case of fire from fires in order to possibly regulate fire resistance due to directional additives. Based on numerous publications and scientific and technical information, the parameters of a special chamber for studying the resistance and resistance of materials to fire were selected. The method of conducting combustibility studies and fixing the moment of ignition of protective coatings on a specially made device that allowed to record the time, temperature and distance of the fire flow to the paintwork is determined. The mechanism for obtaining reliable information about the state of the coating under the influence of fire by various parameters has been developed, which made it possible to adapt previously developed formulas for the theoretical determination of the stability of paint compositions.

Key words: paint compositions, fires, fire protection, fire resistance, metal structures, equipment of enterprises.

REFERENCES

1. *Mosalkov I.L., Plyusnina G.F., Frolov A.Yu.* Ognestoykost' stroitel'nykh konstruksiy [Fire resistance of building structures]. Moscow, 2001. (in Russian)

2. *Roitman M.Ya.* Pozharnaya profilaktika v stroitel'nom dele [Fire prevention in construction]. Moscow, 1975. 526 p. (in Russian)
3. *Yakovlev A.I.* Raschet ognestoykosti stroitel'nykh konstruktсий [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 14 p. (in Russian)
4. *Gvozdeva O.N.* Oгнеzashchitnye sostavy na osnove zhidkogo stekla i rasshi-ryayushchegosya grafita [Flame retardants Based on liquid glass and expanding graphite]. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. 2004. No. 4. Pp. 33–35. (in Russian)
5. *Strakhov A.V., Timokhin D.K., Ivashchenko Yu.G., Strakhova V.N.* Perspektiva razrabotki ognезashchitnykh sostavov na osnove mestnogo syr'ya [Perspective of development of fire-retardant compositions based on local raw materials]. Fiziko-khimicheskie protsessy v stroitel'nom materialovedenii [Physical and chemical processes in construction materials science]. Novosibirsk, 2018. Pp. 207–210. (in Russian)
6. *Malkin A.Ya., Askadskiy A.A., Kovriga V.V.* Metody izmereniya mekhanicheskikh svoystv polimerov [Methods for measuring the mechanical properties of polymers]. Moscow, 1978. 330 p. (in Russian)
7. *Teitelbaum B.Ya.* Termomekhanicheskiy analiz polimerov [Thermomechanical analysis of polymers]. Moscow, 1979. 236 p. (in Russian)
8. *Knigina G.I., Tatsky O.N., Kucherova E.A.* Sovremennye fiziko-khimicheskie metody issledovaniya stroitel'nykh materialov [Modern physical and chemical methods of research of building materials]. Novosibirsk, 1981. 82 p. (in Russian)
9. *Vorobyov V.A., Andrianov R.A., Ushkov V.A.* Goryuchest' polimernykh stroitel'nykh materialov: Monografiya [Combustibility of polymer building materials: Monograph]. Moscow, Stroyizdat, 1978. 225 p. (in Russian)
10. *Andrianov R.A.* Razrabotka metodov snizheniya goryuchesti polimernykh stroitel'nykh materialov s sokhraneniem osnovnykh ekspluatatsionnykh pokazateley: Avtoref. dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk [Development of methods for reducing the combustibility of polymer building materials while maintaining the main performance indicators: Extended abstract of Doctor's thesis]. Moscow, 1979. 34 p. (in Russian)