

Структура и воспламеняемость полимерных композиционных покрытий для наливных полов

The structure and inflammability of the polymer composite coatings for bulk floors

Н.И. КОНСТАНТИНОВА¹, И.Д. СИМОНОВ-ЕМЕЛЬЯНОВ², А.Ю. ШЕБЕКО¹,
О.В. КРИВОШАПКИНА¹, Н.В. СМОРНОВ¹

N.I. KONSTANTINOVA¹, I.D. SIMONOV-EMEL'YANOV², A.YU. SHEBEKO¹,
O.V. KRIVOSHAPKINA¹, N.V. SMIRNOV¹

¹ ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia

² ФГБОУ ВО «МИРЭА-Российский технологический университет» MIREA — Russian Technological University

firelab_vniipo@mail.ru

Рассматриваются вопросы построения структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ), ее описание в рамках теории решеток, упаковок и обобщенных параметров и их связи с воспламеняемостью напольных полимерных покрытий на негорючем основании при воздействии теплового потока различной плотности.

Впервые установлены фундаментальные зависимости критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП) напольных покрытий из ДНПКМ на основе эпоксидной и полиуретановой матриц и инертного наполнителя (диоксида кремния) от обобщенных параметров структуры и параметров решеток.

Определены параметры структуры и составы ДНПКМ для получения наливных полимерных полов по традиционной технологии, относящиеся к группам воспламеняемости не выше В2 – умеренно воспламеняемые, т.е. не воспламеняющиеся при воздействии теплового потока в условиях испытаний по ГОСТ 30402-96, что соответствует значению КППТП не ниже 20 кВт/м².

The issues of construction of dispersion-filled polymer composite materials (DFPCM) structure, its description using the theory of lattices, packages and generalized parameters and their relationship with the inflammability of polymer floor coatings on a non-combustible base under the influence of a heat flux of various density are considered.

For the first time, the fundamental dependences of the critical surface heat flux density (CSHFD) of DFPCM bulk floors based on epoxy and polyurethane matrices and inert filler (silicon dioxide) on the generalized structure parameters and lattice parameters have been established.

The parameters of structure and composition of DFPCMs to obtain a liquid polymer bulk floors by traditional technology have been determined. These DFPCMs have inflammability not higher than B2, so they are moderately flammable, i.e. non-flammable when exposed to heat flux under test conditions according to GOST 30402-96, which corresponds to a CSHFD value not lower than 20 kWt/m².

Keywords: inflammability, dispersive-filled systems, polymeric composite materials, structure, critical density of heat flow, polymeric coverings for bulk floors.

Ключевые слова: воспламеняемость, дисперсно-наполненные системы, полимерные композиционные материалы, структура, критическая плотность падающего теплового потока, полимерные покрытия для наливных полов.

DOI: 10.35164/0554-2901-2019-3-4-50-54

Полимерные покрытия для полов широко применяются в зданиях, сооружениях и на транспорте. Имеющийся опыт длительного срока эксплуатации готовых покрытий подтвердил преимущества их использования, связанные с устойчивостью к интенсивным механическим нагрузкам, к воздействию щелочей, кислот и прочих химических средств, к перепаду температур и солнечному излучению, возможностью обеспечения электростатической защиты, применения мощных средств, в том числе специальных дезактивирующих.

Наливные полимерные композиции часто применяются для помещений зданий и сооружений общественного и производственного назначения в качестве покрытия пола (склады, торговые, выставочные площади, паркинги, автомойки и пр.), площади которого могут достигать сотен и даже тысяч квадратных метров [1, 2]. Для указанных видов помещений имеет место достаточно большая вероятность возникновения очага возгорания вследствие различных причин, что может привести к быстрому распространению пламени по поверхности покрытия.

Горение композиционных полимерных материалов сопровождается, значительным тепло- и дымовыделением, а также образованием токсичных продуктов реакции термоокислительного разложения, которые вносят свой вклад в опасные факторы пожара, влияющие на безопасную эвакуацию людей из зданий и сооружений.

При контакте с высокоэнергетическим источником (до 1000–1200°C) полимерные материалы нагреваются до температур, превышающих температуры начала термодеструкции, газообразные продукты разложения могут воспламеняться и, таким образом, поддерживать процесс горения в окислительной среде.

Существуют нормативные требования пожарной безопасности, изложенные в Федеральном Законе Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ [3], которые ограничивают использование пожароопасных напольных покрытий в строительстве по воспламеняемости, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения, а также распространению пламени по поверхности.

Одной из актуальных проблем является изучение возможности снижения пожарной опасности полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых для покрытий полов в зданиях и сооружениях различной степени огнестойкости и функциональной пожарной опасности.

В настоящей статье рассматривается комплекс вопросов, связанных с разложением полимеров, влиянием параметров структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ) на значения критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП) – $q_{кр}$, воздействующего на полимерную композицию, и воспламеняемость покрытий для наливных полов.

Для исследований по оценке воспламеняемости покрытий жестких наливных полов были выбраны ДНПКМ на основе двухкомпонентных эпоксидных и полиуретановых полимерных композиций, широко применяемых для устройства напольных покрытий на объектах промышленности и торговли. Композиции на основе полиуретанового и эпоксидного связующего имеют сертификат системы менеджмента качества производства согласно ISO 9001.

Данные виды покрытий обладают комплексом достаточно высоких эксплуатационных свойств, что обуславливает их эффективное использование и наличие многообразия поставщиков продукции и производителей.

Выбор полимерных матриц (эпоксидные и полиуретановые) для ПКМ и наливных полов обусловлен их различием, как по химической структуре, так и по комплексу эксплуатационных свойств.

По значению кислородного индекса (КИ) данные полимеры существенно различаются между собой: для эпоксидных полимеров КИ составляет ~25–45 об.%, для полиуретановых – 15–17 об.%, что указывает на большую горючесть полиуретановых полимеров.

Термическое разложение эпоксидных и полиуретановых полимеров протекает по радикальному механизму с образованием мономеров, однако полимеры на эпоксидной основе образуют коксовый остаток (КО) до ~25 масс. % и имеют интервал начала термического разложения в области 150–200°C, в то время как для полиуретановых полимеров значение КО не превышает ~10 масс.%, а интервал начала термического разложения составляет 120–160°C.

Введение в полимерные матрицы при создании наливных полов дисперсных инертных твердых наполнителей приводит к изменению параметров структуры ДНПКМ, комплекса технологических и эксплуатационных свойств [4].

Инертный наполнитель может также повышать значение КИ и изменять кинетику термической деструкции полимерной матрицы, что оказывает влияние на процесс выделения горючих газов и в целом на пожарную опасность покрытий для наливных полов.

В качестве дисперсного инертного наполнителя использовались диоксид кремния (кварцевый песок) с размером частиц ~500 мкм – для покрытий с толщиной более 3,0 мм и ~160 мкм – для покрытий толщиной 1–2 мм, с истинной плотностью 2,65 г/см³ и насыпной 1,46 г/см³ и 1,52 г/см³ соответственно. При температурах горения (до 1000°C) кварцевый песок практически не разлагается.

Условия воздействия теплового потока на ДНПКМ для наливных полов были обусловлены требованиями стандартных методов испытаний по оценке способности к распространению пламени по поверхности материалов [5–7], а также Технического регламента «О требованиях пожарной безопасности» [3].

За значение критической поверхностной плотности теплового потока принимали значение, при котором в условиях испытания наблюдали возникновение пламени на поверхности полимерного материала.

В качестве напольных покрытий, согласно приведенным нормативным требованиям, можно использовать материалы группы воспламеняемости не выше В2 (умеренновоспламеняемые), т.е. не воспламеняющиеся при воздействии теплового потока ниже 20 кВт/м².

В связи с этим при проведении исследований по оценке воспламеняемости в качестве критерия пожарной безопасности ДНПКМ и наливных полов было принято нормативное значение для КППТП, равное 20 кВт/м².

Экспериментальные исследования по определению значения КППТП, воздействующего на ДНПКМ, и воспламеняемость покрытий для наливных полов проводили с использованием метода испытаний и средств измерений в соответствии с требованиями ГОСТ 30402-96 [8].

Для определения значения теплового потока, воздействующего на ДНПКМ для наливных полов, были проведены исследования по установлению фундаментальных зависимостей влияния составов и структуры дисперсно-наполненных систем на воспламеняемость и параметр КППТП.

Для расчета составов и построения структуры ДНПКМ с заданными параметрами были определены по известным методикам [9] основные характеристики дисперсных наполнителей (кварцевого песка) и обобщенные параметры структуры.

Впервые в работе представлены данные о связи параметров решеток (координационного числа Z и коэффициента плотности

упаковки $k_{уп}$) и обобщенных параметров структуры ДНПКМ [4] с КППТП.

Для расчета составов и обобщенных параметров ДНПКМ для наполнителя (кварцевого песка) необходимо определить экспериментально значение максимальной упаковки (параметр ϕ_m) по известным методикам [9].

На рис. 1 в качестве примера приведена кривая уплотнения порошка кварцевого песка с диаметром частиц 160 мкм под давлением для определения параметра ϕ_m в ДНПКМ.

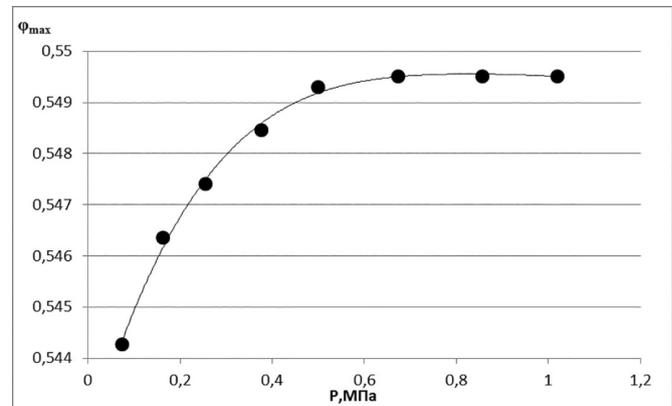


Рис. 1. Кривая уплотнения кварцевого песка с диаметром частиц 160 мкм под давлением. Значения параметра ϕ_m для кварцевого песка с разными диаметрами частиц составили: 0,57 об.д. ($d = 500$ мкм) и 0,55 об.д. ($d = 160$ мкм).

По формулам, приведенным в работе [4], были определены обобщенные параметры структуры ДНПКМ (Θ и V , а параметр $M \rightarrow 0$ для частиц с диаметром более 10 мкм), по которым находили значения параметров решеток Z и $k_{уп}$, рассчитывали составы эпоксидных и полиуретановых композитов, и впервые проведена их классификация по структурному принципу для данного вида наполнителя (таблица 1).

Составы ДНПКМ были рассчитаны из теории сплошности: $\phi_n + \phi_{св} = 1,0$ об.д. или через обобщенные параметры структуры: $\phi_n + (\Theta + V + M) = 1,0$ об.д.

Обобщенный параметр Θ определяет содержание полимерной матрицы, которая формирует прослойки между частицами дисперсной фазы в ДНПКМ, а параметр V характеризует объем полимерной матрицы между частицами при их максимальной упаковке ($\phi_n = \phi_m$). Параметр M отражает содержание полимерной фазы в граничных слоях.

Зависимость $k_{уп} = f(Z)$ представляет собой линейную функцию, связывающую эти параметры между собой до $Z = 7-8$ и $k_{уп} = 0,64-0,68$.

При изменении параметра решетки Z происходит существенная перестройка структуры ДНПКМ, что сопровождается изменением свойств дисперсной системы. Так при изменении Z от 1 до 2 и $k_{уп} = 0,076-0,16$ в ДНПКМ наблюдается формирование структуры бесконечного кластера, которая при $Z = 3$ и $k_{уп} = 0,255$ переходит от бесконечного кластера к первой решетчатой структуре – тетраэдрической решетке ($Z = 3-5$, $k_{уп} = 0,255-0,43$), а переход от тетраэдрической к простой ($Z = 6-7$, $k_{уп} = 0,52-0,64$) и объемно-центрированной ($Z = 8$, $k_{уп} = 0,68$) кубической решеткам происходит при разных значениях параметров решеток и с формированием трехмерной структуры (квазинепрерывного каркаса) из частиц дисперсного наполнителя, что сопровождается изменением комплекса свойств дисперсной системы.

На рис. 2. впервые приведены зависимости обобщенного параметра дисперсной структуры Θ (полимерная прослойка между частицами), который определяет реологические свойства и формуемость ДНПКМ, от параметров решеток Z и $k_{уп}$, что позволяет интерпретировать получаемые результаты не только от состава и параметров полимерного композиционного материала, а также и связать их с теорией построения решеток при создании ДНПКМ.

Содержание наполнителя для создания ДНПКМ выбирали исходя из значений параметров решетки Z , $k_{уп}$ и обобщенного параметра Θ , который линейно связан с Z , $k_{уп}$.

Для исследования были выбраны составы ДНПКМ в области разбавленных систем – РС ($Z \leq 1$; $k_{уп} \leq 0,076$ и $1,0 \geq \Theta \geq 0,90$ об.д.)

– содержание кварцевого песка – 5 об. % (10 масс. %); низконаполненных – ННС ($1 \leq Z \leq 2$; $0,076 \leq k_{уп} \leq 0,16$ и $0,90 \geq \Theta \geq 0,75$ об. д.) – 9 об. % (20 масс. %) и средненаполненных – группа СНС-1 ($2 \leq Z \leq 4$; $0,16 \leq k_{уп} \leq 0,34$ и $0,75 \geq \Theta \geq 0,45$ об. д.) – 14 об. % (30 масс. %), 20 об. % (40 масс. %) и 25 об. % (56 масс. %).

Как показано в работе [10], вязкость ДНПКМ на основе эпоксидных связующих с пределом текучести (группа СНС-2) и параметрами $4 \leq Z \leq 6$; $0,34 \leq k_{уп} \leq 0,52$ и $0,45 \geq \Theta \geq 0,20$ об. д. резко возрастает, что не позволяет получать из таких составов ДНПКМ наливные полы по традиционной технологии.

При содержании 25 об. % (55 масс. %) кварцевого песка были получены согласно традиционной технологии изготовления наливные полы толщиной 2 мм, однако образец полностью растрескивается при отверждении и формируется шероховатая поверхность.

Таким образом, для получения наливных полов из ДНПКМ по критерию вязкости можно использовать дисперсно-наполненные составы с параметрами решетки $Z = 2-3$, $k_{уп} = 0,16-0,255$ (бесконечный кластер, тетраэдрическая решетка) и обобщенным параметром $\Theta = 0,55-0,64$ об. д. при использовании кварцевого песка с параметром $\phi_m = 0,55$ об. д. и диаметром частиц 160 мкм, т.е. низко- и средненаполненные ДНПКМ (группа СНС-1, до предела текучести).

Увеличения содержания наполнителя в ДНПКМ при сохранении их технологических свойств можно достичь при увеличении для наполнителя параметра ϕ_m с 0,55 до 0,7–0,85 об. д. при использовании так называемых плотных составов, построенных по принципу прерывистой или непрерывной granulometрии [9].

Для определения влияния параметров решеток (Z и $k_{уп}$) и обобщенного параметра Θ на значение КППТП и воспламеняемость, полимерное покрытие из ДНПКМ на основе эпоксидной и полиуретановой матрицы заданного состава наносили толщиной 1,8–2,0 мм на негорючую хризотилцементную плиту размером $165 \times 165 \times 10(12)$ мм.

Общую толщину напольных покрытий толщиной 1,8–2,0 мм выбирали исходя из технической документации на материалы на основе эпоксидных смол для их устройства на объектах и имеющих сертификаты соответствия требованиям Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» по группе воспламеняемости В2, группе распространения пламени РП1 (нераспространяющих пламя), группе токсичности продуктов горения Т2 (умеренноопасные) и группе с умеренной дымообразующей способностью Д2.

Покрытие для наливных полов на основе эпоксидного связующего для проведения настоящих исследований формировали в три этапа путем последовательного нанесения на хризотилцементную плиту следующих слоев:

- двухкомпонентная эпоксидная грунтовка (толщина 0,23–0,35 мм, расход $\approx 0,35$ кг/м²; время сушки при 20°C до нанесения следующего слоя покрытия – 16–24 часа);
- двухкомпонентная эпоксидная шпатлевка (толщина 0,8–0,9 мм, расход $\approx 1,5$ кг/м²; время сушки при 20°C до нанесения следующего слоя покрытия – 24 часа);
- двухкомпонентная эпоксидная эмаль (толщина 1,2 мм, расход 1,7–1,9 кг/м²; время сушки при 20°C до полного отверждения – 7 суток), вводится наполнитель.

Испытания покрытия проводили после его полного отверждения при 20°C в течение 7 дней после нанесения последнего слоя.

Покрытие для наливных полов на основе полиуретанового связующего формировали в два этапа путем последовательного нанесения следующих слоев:

- двухкомпонентная эпоксидная грунтовка (толщина 0,23–0,35 мм, расход $\approx 0,35$ кг/м²; время сушки при 20°C до нанесения следующего слоя покрытия – 16–24 часа);
- двухкомпонентная полиуретановая эмаль (толщина 1,8–2,0 мм, расход 2,5–2,8 кг/м²; время сушки при 20° полного отверждения – 5 дней), вводился наполнитель.

Испытания полимерного покрытия проводили после его полного отверждения при 20°C в течение 5 дней после нанесения последнего слоя.

Покрытие на негорючем основании подвергали воздействию лучистой энергии с поверхностной плотностью теплового потока (q) в диапазоне от 5 до 40 кВт/м². При заданном уровне поверхностной плотности теплового потока фиксировали наличие или отсутствие пламенного горения при подводе с частотой 5 секунд к экспонируемой поверхности образца газовой горелки, предусмотренной стандартом. За $q_{кр}$ принимали минимальное значение, при котором фиксировали возникновение пламенного горения образца полимерного покрытия.

На рисунке 3 приведены зависимости значений $q_{кр}$ для наливных полов толщиной 1,8–2,0 мм на основе эпоксидного и полиуретанового связующих от содержания дисперсного наполнителя (кварцевого песка).

Таблица 1. Параметры решеток, обобщенные параметры дисперсной структуры, составы ДНПКМ и их классификация по структурному принципу для систем на основе кварцевого песка ($\phi_m = 0,55$ об. д. и $d = 160$ мкм).

Содержание дисперсного наполнителя ϕ_m , об. д.	Обобщенные параметры структуры ДНПКМ			Тип решетки	Координационное число решеток, Z	Плотность упаковки, $k_{уп}$	Примечание
	Θ , об. д.	B, об. д.	M, об. д.				
Разбавленные ДНПКМ с $1,0 \geq \Theta > 0,90$ об. д.							
0,03	0,95	0,02	0				
0,05	0,92	0,03	0				
Низконаполненные ДНПКМ с $0,90 \geq \Theta > 0,75$ об. д.							
0,06	0,90	0,05	0	Бесконечный кластер	1	0,076	Переход к двумерной структуре
0,09	0,84	0,07	0				
Средненаполненные ДНПКМ с $0,75 \geq \Theta > 0,20$ об. д.							
Группа СНС-1 – $0,75 \geq \Theta > 0,45$ об. д. (ДНПКМ до предела текучести)							
0,14	0,75	0,11	0	Бесконечный кластер	2	0,16	Двумерная структура
0,17	0,71	0,12	0				
0,20	0,64	0,16	0				
0,22	0,60	0,18	0	Тetraэдрическая	3	0,255	Переход к трехмерной структуре
0,25	0,55	0,20	0				
Группа СНС-2 – $0,45 \geq \Theta > 0,20$ об. д. (ДНПКМ с пределом текучести)							
0,34	0,45	0,21	0	Тetraэдрическая	4	0,34	Трехмерная структура
Высоконаполненные ДНПКМ с $0,20 \geq \Theta \geq 0,0$ об. д.							
0,43	0,20	0,37	0	Тetraэдрическая	5	0,43	Трехмерная структура
0,52	0,09	0,39	0	Кубическая простая	6	0,52	
Сверхвысоконаполненные ДНПКМ с $\Theta < 0,0$ об. д.							
0,55	0,00	0,45	0	Кубическая простая	7	0,637	Трехмерная структура

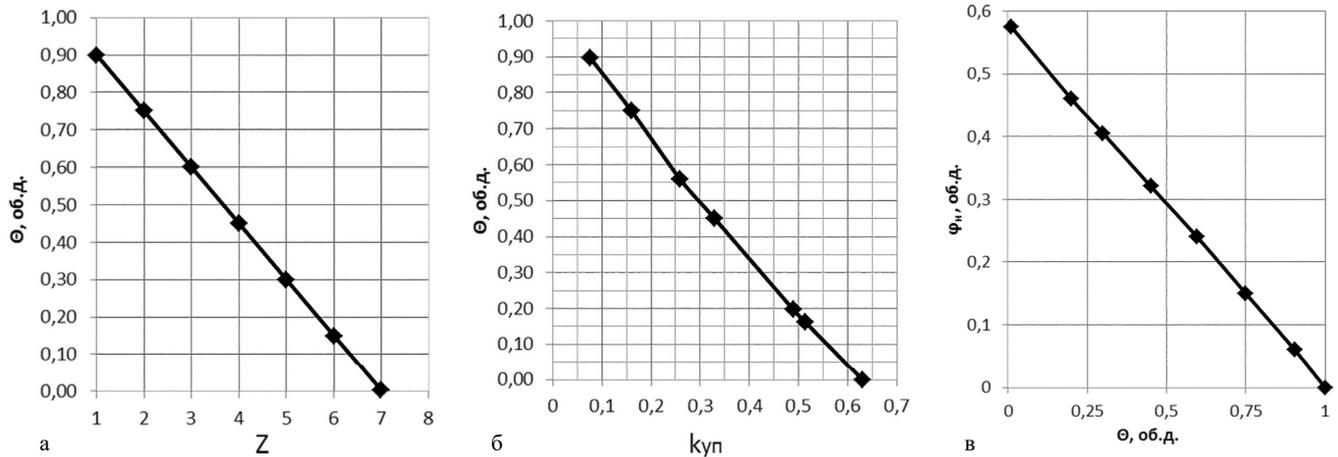


Рис. 2. Зависимость обобщенного параметра Θ для ДНПКМ от координационного числа Z (а), плотности упаковки $k_{уп}$ (б) и содержания кварцевого песка (ϕ_n) от Θ (в) при $\phi_m \approx 0,55$ об.д.

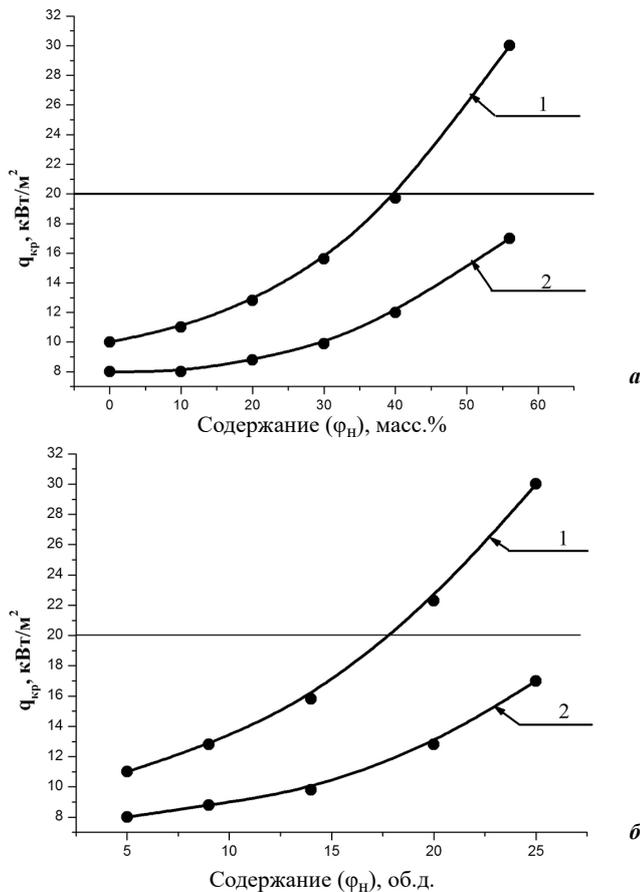


Рис. 3. Зависимость $q_{кр}$ покрытия для наливных полов на основе ДНПКМ с эпоксидной (1) и полиуретановой (2) матрицей от содержания кварцевого песка в массовых (а) и объемных единицах (б).

Из представленных на рис. 3 зависимостей видно, что при увеличении содержания вводимого в состав полимерных композиций инертного наполнителя значение $q_{кр}$ возрастает, что свидетельствует о повышении их устойчивости к воздействию теплового потока.

При содержании наполнителя ~15 об.% (~30 масс.%) наблюдается точка перегиба с дальнейшим повышением параметра $q_{кр}$, что хорошо совпадает с данными о переходе структуры от бесконечного кластера к первой тетраэдрической решетке в структуре ДНПКМ.

Следует отметить, что содержание кварцевого песка ~20 об. % (40 масс. %) для эпоксидных и полиуретановых покрытий при толщине 1,8–2,0 мм является максимально возможным по уровню обеспечения комплекса эксплуатационных свойств.

Как видно из рис. 3, устойчивость композиционных материалов к воспламенению существенно зависит от природы полимерной матрицы.

Установлено, что при максимальном содержании наполнителя ~20 об.% (40 масс.%) в покрытии с эпоксидной матрицей уже достигается нормативный уровень КППТП (20 кВт/м²) для напольных покрытий группы воспламеняемости не выше В2 (умеренновоспламеняемые), в то время как при таком же содержании наполнителя в полиуретановой композиции значение КППТП не превышает 12 кВт/м², что соответствует группе воспламеняемости В3 – легковоспламеняемые и является недопустимым для создания напольных покрытий на путях эвакуации и в зальных помещениях.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что покрытие на основе полиуретана является наиболее пожароопасным.

В ходе проведения исследований было выполнено аналитическое описание экспериментальных зависимостей (рис. 3) КППТП $q_{кр}$ от содержания инертного наполнителя как в эпоксидной, так и в полиуретановой матрице при рассматриваемой толщине.

Аналитическое описание зависимостей, представленных на рис. 3а, имеет следующий вид:

$$q_{кр} = 9,99 + 7,91 \cdot 10^{-2} \phi_n + 1,96 \cdot 10^{-3} \phi_n^2 + 5,37 \cdot 10^{-5} \phi_n^3$$

для покрытий наливных полов на основе ДНПКМ с эпоксидной матрицей и

$$q_{кр} = 7,98 + 1,53 \cdot 10^{-2} \phi_n + 2,21 \cdot 10^{-3} \phi_n^2 + 1,67 \cdot 10^{-5} \phi_n^3$$

для покрытий наливных полов на основе ДНПКМ с полиуретановой матрицей.

Таким образом, при известном количественном содержании кварцевого песка по представленным формулам могут быть спрогнозированы численные значения КППТП. Такой прогноз имеет также существенное практическое значение и для случаев, когда известно экспериментально установленное значение КППТП для покрытия пола определенной толщины, исходя из которого можно оценить процентное содержание кварцевого песка в композиции, то есть решить обратную задачу.

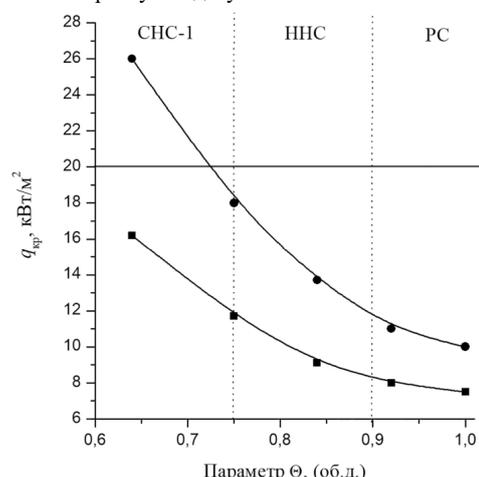


Рис. 4. Зависимость $q_{кр}$ покрытия для наливных полов на основе ДНПКМ с эпоксидной (1) и полиуретановой (2) матрицей от обобщенного параметра структуры Θ .

Для получения фундаментальных знаний о влиянии структуры ДНПКМ на их пожарную безопасность и параметр КППТП, полученные зависимости $q_{кр} = f(\varphi_n)$ были впервые перестроены в координатах от обобщенного параметра Θ структуры ДНПКМ (рис. 4) и параметров решеток – Z и $k_{уп}$ (рис. 5).

Из приведенных данных следует, что в области составов разбавленных ДНПКМ ($\Theta \geq 0,9$ об. д.) значение $q_{кр}$ практически не отличается от значений, характерных для исходных полимерных матриц (эпоксидная и полиуретановая).

Для низконаполненных ДНПКМ (Z от 1 до 2, $k_{уп} = 0,076-0,16$ и $0,90 > \Theta \geq 0,75$ об. д.) параметр КППТП закономерно возрастает, однако его значение как для эпоксидных, так и для полиуретановых ДНПКМ не достигает критического значения КППТП – 20 кВт/м², что не позволяет их использовать для наливных полов с точки зрения пожарной безопасности.

Наиболее резкое возрастание параметра $q_{кр}$ наблюдается при переходе наполненных систем в область средненаполненных (группа СНС-1) с $2 \leq Z \leq 4$; $0,16 \leq k_{уп} \leq 0,34$ и $0,75 \geq \Theta \geq 0,45$ об. д., однако дальнейшее снижение обобщенного параметра $\Theta < 0,45$ об. д. и переход структуры систем в группу СНС-2 с пределом текучести не позволяет их использовать по традиционной технологии получения наливных полов, вследствие высокой вязкости.

Следует отметить, что уже при $\Theta = 0,725$ об. д. ($Z > 2$ и $k_{уп} > 0,255$) для ДНПКМ на эпоксидной матрице достигается критическое значение параметра КППТП, при котором покрытия можно отнести к группе воспламеняемости не выше В2 (умеренно воспламеняемые). Для ДНПКМ на полиуретановой матрице даже при максимальном содержании дисперсного наполнителя (20 об.%) и $\Theta = 0,64$ об. д. значение параметра КППТП не превышает ~16 кВт/м², что не соответствует требованиям к композиционным материалам для наливных полов по их пожарной безопасности (КППТП = 20 кВт/м²).

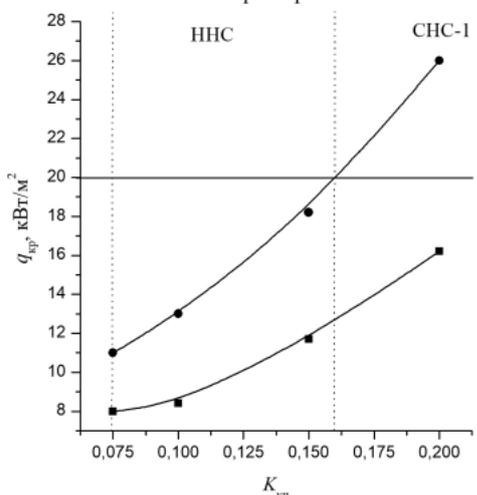
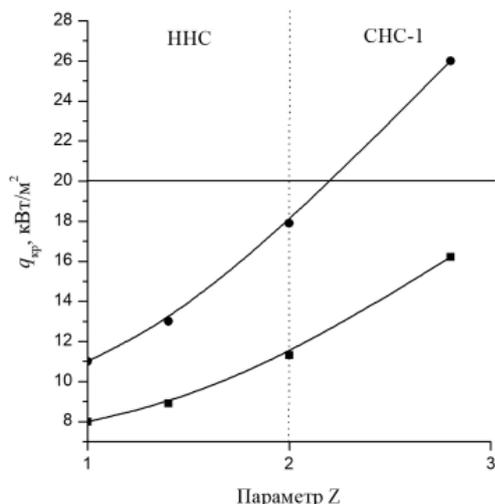


Рис. 5. Зависимость $q_{кр}$ покрытия из ДНПКМ для наливных полов на основе эпоксидной (1) и полиуретановой (2) матрицы от координационного числа решетки Z (а) и плотности упаковки $k_{уп}$ (б).

Представленные на рис. 1 зависимости обобщенного параметра Θ , как функция параметров решеток Z и $k_{уп}$, а также $\varphi_n = f(\Theta)$ позволяют представить зависимости параметра $q_{кр}$ от координационного числа Z и плотности упаковки $k_{уп}$ различных решеток, описывающих структуру ДНПКМ в рамках решетчатых моделей (рис. 5).

Как следует из рис. 5, при переходе структуры ДНПКМ от ННС к СНС (группа СНС-1) наблюдается резкое увеличение значения параметра КППТП, что происходит при $Z > 2$ и $k_{уп} > 0,16$, а обобщенный параметр Θ изменяется в интервале от 0,75 до 0,45 об. д.

Анализ кривых показывает, что на характер зависимостей основное влияние оказывает природа полимерной матрицы.

Очевидно, что для ДНПКМ с инертным наполнителем для наливных полов можно использовать полимерные матрицы с КППТП не ниже ~9,0 кВт/м², тогда как при параметрах структуры $2 \leq Z \leq 4$; $0,16 \leq k_{уп} \leq 0,34$ и $0,75 \geq \Theta \geq 0,45$ об. д. и содержании инертного наполнителя с параметром $\varphi_m = 0,55$ об. д. равным ~20 об. % (~40 масс. %) можно получать полимерные композиционные материалы группы воспламеняемости не выше В2 (умеренно воспламеняемые), т.е. не воспламеняющиеся при воздействии теплового потока в условиях испытаний по ГОСТ 30402-96, который соответствует значению КППТП не ниже 20 кВт/м².

Таким образом, для выбора полимерных матриц для наливных полов можно установить критерий по значениям КППТП и вязкости, а пожарную безопасность ДНПКМ регулировать с помощью варьирования параметрами структуры дисперсных систем с инертным наполнителем: параметрами решеток Z и $k_{уп}$, а также обобщенным параметром Θ .

В результате проведенных исследований, установления закономерностей и описания структур ДНПКМ в рамках теории решеток и обобщенных параметров показана возможность создания полимерных покрытий для наливных полов, которые в условиях стандартных испытаний не воспламеняются при поверхностной плотности теплового потока ~20 кВт/м², что позволяет расширить их область применения до отдельных помещений с повышенными требованиями пожарной безопасности, в частности, путей эвакуации и зальных помещений.

Литература

- Шестопалов А.А. Технологии устройства бетонных полов. // Строительство. Новые технологии. Новое оборудование. – 2007 г. – № 10. – С. 37–41.
- Лундин Л.М., Захарченко Д.В. Исследование и разработки в области промышленных полов//Лакокрасочные материалы и их применение – 2015 – №6 – С.16–19.
- Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федер. Закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 22 июля 2008 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г. (в ред. Федер. Закона от 3 июля 2016 г. № 301-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»
- Симонов-Емельянов И.Д. Построение структур в дисперсионно-наполненных полимерах и свойства композиционных материалов // Пластические массы – 2015. №9–10. С.29–36.
- ГОСТ Р 51032-97 Материалы строительные. Метод испытаний на распространение пламени.
- EN ISO 9239-1:2014. Reaction to fire tests for floorings. Part 1: Determination of the burning behavior using a radiant heat source.
- ASTM E648-86 Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source.
- ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.
- Симонов-Емельянов И.Д., Шембель Н.Л., Ушакова О.Б., Суриков П.В., Прокопов Н.И., Гервальд А.Ю. и др. / Сборник научно-методических разработок кафедры ХТПП и ПК: Методы определения технологических свойств наполнителей и полимерных материалов М.: МИТХТ 2014 с.1–71.
- Симонов-Емельянов И.Д., Трофимов А.Н., Соколов В.И., Зарубина А.Ю., Шалгунов С.И., Сингаева А.В., Трофимов Д.А. / Обобщенные параметры структуры и реологические свойства дисперсно-наполненных эпоксидных олигомеров с инактивным растворителем / Клеи, Герметики. Технологии – 2018 №5 с. 11–17.