

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ОГNETУШАЩИЙ ПОРОШКОВЫЙ СОСТАВ *

И.В. Вальцифер, *Институт технической химии УрО РАН*

А.Ш. Шамсутдинов, *Институт технической химии УрО РАН*

Н.Б. Кондрашова, *Институт технической химии УрО РАН*

А.В. Пьянкова, *Институт технической химии УрО РАН*

Для цитирования:

Вальцифер И.В., Шамсутдинов А.Ш., Кондрашова Н.Б., Пьянкова А.В. Высокоэффективный огнетушащий порошковый состав // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2022. – № 2. – С. 6–16.
<https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.2.1>

Огнетушащие порошковые составы (ОПС) на основе фосфатов аммония обладают высокой удельной пожаротушающей способностью. Однако при хранении происходит ухудшение их технических характеристик, что снижает эффективность тушения очагов пожара. Для решения данной проблемы авторами рассмотрено перспективное направление улучшения технических свойств ОПС путем использования супергидрофобных функциональных наполнителей на основе диоксида кремния.

В работе рассмотрены способы получения огнетушащих порошковых составов с использованием в качестве функциональных наполнителей супергидрофобных частиц диоксида кремния с различными текстурно-структурными свойствами и краевым углом смачивания более 160° .

По результатам реологических испытаний определены основные характеристики функциональных наполнителей (размер частиц, их форма, краевой угол смачивания), влияющие на пожаротушающую эффективность ОПС. Показано, что введение в ОПС модифицированного диоксида кремния с монодисперсными частицами сферической формы, размером ~ 55 нм, обеспечивает высокую текучесть, супергидрофобность (краевой угол смачивания 168°) и низкое влагопоглощение.

Разработанный функциональный наполнитель позволил создать высокоэффективный огнетушащий состав, демонстрирующий лучшие показатели пожаротушения, влагостойкости и текучести среди существующих аналогов.

Ключевые слова: *огнетушащий порошковый состав, функциональный наполнитель, нано- и микрочастицы диоксида кремния, супергидрофобность, когезия, реологические характеристики.*

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта «Огнетушащий порошковый состав комбинированного газогенерирующего воздействия» 18.03.2021 № С-26/543.

Введение

Известно, что наиболее распространенными средствами для борьбы с пожарами в мире являются порошковые составы (ОПС), которые используются в большинстве переносных и автоматических установок пожаротушения. ОПС на основе фосфатов аммония обладают большой удельной эффективностью. Однако фосфаты аммония являются водорастворимыми соединениями и имеют склонность к слеживанию и потере текучести в процессе хранения. Слеживаемость составов обусловлена образованием агломератов при контакте частиц порошка между собой под воздействием влаги воздуха и остаточной влаги в самом порошке [1, 2].

Технология получения ОПС включает стадию введения к тушащему компоненту функциональных наполнителей, поверхностные свойства которых позволяют модифицировать основной компонент ОПС, тем самым улучшить технические и эксплуатационные свойства состава – эффективность тушения, влагостойкость, текучесть [3, 4].

Целью настоящей работы является установление физико-химических и технологических закономерностей поверхностной модификации нано- и микродисперсных частиц диоксида кремния, а также определение их влияния на реологические свойства дисперсных систем на основе фосфатов аммония, которые позволят создать высокоэффективный ОПС с повышенной текучестью, гидрофобностью и пожаротушащей способностью.

Материалы и методы

В качестве материалов для создания функционального наполнителя рассматривались нано- и микродисперсные частицы диоксида кремния с различными текстурно-структурными характеристиками:

- образцы диоксида кремния с упорядоченной системой пор, полученные методом гидротермального темплатного синтеза – MCM-41 (*S1*, *S2*), MCM-48 (*S3*), SBA-15 (*S4*) [5];

- промышленно выпускаемый пирогенный диоксид кремния марки Aerosil 380 (*S5*),

- наноразмерный монодисперсный диоксид кремния со сферической формой частиц (*S6*), за основу получения которого был взят метод Штобера [6].

Сочетание высокой удельной поверхности и упорядоченной системы пор в образцах диоксида кремния *S1 – S4* наделяет их уникальными сорбционными и кинетическими характеристиками.

Пирогенный диоксид кремния торговой марки Aerosil 380 (Evonik Ind.) – *S5*, обладает наименьшим средним диаметром индивидуальной частицы ($d_{cp} = 7$ нм) среди промышленно выпускаемых кремнезёмов.

Синтез диоксида кремния по методу Штобера (*S6*) позволяет получить наноразмерные монодисперсные сферические частицы SiO₂, не склонные к агломерации [7].

Получение образцов диоксида кремния *S1 – S4* с упорядоченной системой пор – гексагональной и кубической, проводилось методом темплатного гидротермального синтеза в присутствии структурообразующего агента. В качестве прекурсора диоксида кремния использовали тетраэтоксисилан (TEOS). В качестве структурообразующего агента – цетилтриметиламмония бромид (ЦТАБ). Оптимальное соотношение компонентов было определено ранее в исследовательских работах [7, 8].

Известно, что диоксид кремния изначально обладает гидрофильными свойствами. Для использования рассматриваемых образцов диоксида кремния в качестве функциональных наполнителей, предотвращающих агломерацию и слеживание частиц тушащих компонентов ОПС, необходимо провести их предварительную гидрофобизацию. Супергидрофобность функциональных наполнителей создается за счет их модификации неполярными органическими группами. При этом величина краевого угла смачивания их поверхности водой должна составлять не менее 140°. Для замещения гидрофильных силанольных групп неполярными гидрофобными фрагментами в работе использовалось гидрофобизирующее соединение – полиметилгидросилоксан (ПМГС).

Преимущество применения полиметилгидросилоксана в качестве гидрофобизирующей жидкости для поверхностной модификации образцов диоксида кремния связано с высокой долей активного водорода в молекулах ПМГС (1,5–1,8%). В случае недостаточного содержания якорной группы (–Si–H) на поверхности диоксида кремния могут остаться свободные гидроксильные группы. Модификация поверхности функциональных наполнителей молекулами гидрофобизирующего соединения производилась в среде органического растворителя [9].

Реологические исследования порошковых составов проводили на порошковом реометре FT4 Powder Rheometer (Freeman Technology, Великобритания). Сдвиговый тест позволил определить для порошковых материалов параметры когезии, напряжения свободного истечения (σ_c), наибольшего главного напряжения (σ_1), коэффициента функции истечения. Тест проводился при нормальных напряжениях 7, 6, 5, 4, и 3 кПа, уплотняющее напряжение составляло 9 кПа [5, 10].

Оценка течения порошковых составов проводилась путем определения затраченной на этот процесс энергии. Принцип работы устройства основан на прохождении изогнутого лезвия через слой порошка по спиральной траектории. Скорость движения наконечника лезвия равна 100 мм/с. Для расчета энергии, затрачиваемой на течение порошка, в непрерывном режиме измеряются силы, прикладываемые движущимся лезвием и вызывающие деформацию порошка. В процессе измерения определяются два ключевых динамических параметра порошковых составов – основная и удельная энергия течения. При определении основной энергии течения лезвие движется вниз через слой образца, создавая уплотняющее воздействие и высоконапряженный режим течения. При определении удельной энергии течения, напротив, лезвие движется вверх через слой образца порошка, создавая разрыхляющее воздействие. Данные,

получаемые из этого цикла, затем относятся к массе тестируемого порошка.

Текстурные свойства материалов (удельную поверхность, объём, диаметр пор, распределение пор по размерам) исследовали низкотемпературной сорбцией азота (при $t = -196^\circ\text{C}$) на приборе ASAP 2020 (Micromeritics, США) после дегазации исследуемого материала в вакууме при температуре 90°C в течение 3 ч. Удельную поверхность образцов (S_{BET}) и общий объём пор (V_{tot}) – по методу БЭТ, распределение пор по размерам определяли по изотермам десорбции, используя метод ВЖН в интервале размеров пор 1,7–300 нм.

Изучение микроструктуры образцов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа FEI QUANTA 650 FEG (Fei, Нидерланды). Напряжение на ускоряющем электроде – 1–10 кВ, используемые увеличения – от $\times 1\,000$ до $\times 400\,000$. Octane Elite EDS System (AMETEK Materials Analysis Division, США) была использована для анализа элементного состава порошковых образцов.

ИК-спектроскопию материалов проводили в области $150\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. Спектры регистрировали на ИК–Фурье спектрометре IFS – 66/S (Bruker, Германия) при комнатной температуре, число сканирований равно 100, разрешающая способность составляет 2 см^{-1} .

Термический анализ проводили с использованием термогравиметрического анализатора TGA/DSC 1 (METTLER-TOLEDO, Швейцария) в атмосфере воздуха при скорости нагревания $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ в интервале температур $25\text{--}1\,000^\circ\text{C}$.

Содержание гидроксильных групп определялось потерей воды рассматриваемых образцов диоксида кремния (моль/г) при температуре T_0 и рассчитывалось по следующей формуле:

$$n_{\text{OH}}(\text{SiO}_2) = 2n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2(WL(T_0) - WL(T_{\text{кон.}}))}{100M_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где $WL(T_0) - WL(T_{\text{кон.}})$ – это потеря веса образца (мас.%) в области температур $T_0 - T_{\text{кон.}}$, $M_{\text{H}_2\text{O}}$ – молярная масса воды [11].

Гидрофобность функциональных наполнителей определяли по величине краевого угла смачивания с помощью лабораторного гониометра DSA100 (KRÜSS, Германия). Измерение краевого угла производили по форме капли, в точке пересечения контура капли с подложкой. Для этого проводили касательную к капле и определяли угол наклона этой касательной в сторону жидкой фазы.

Определение гранулометрического состава образцов измельченных фосфатов аммония проводилось с использованием просеивающей машины HAVER EML 200 Premium с амплитудой колебаний 1,5 мм. Образец порошка массой 10 г просеивали в течение 15 мин на наборе сит со следующим размером ячеек: 0,315; 0,20; 0,10; 0,05 мм.

Обсуждение результатов

На изображениях СЭМ (рис. 1) видно, что образцы диоксида кремния представляют собой агрегаты частиц различной

формы со средним размером: 100 нм, сферическая – S1; 2,5 мкм, палочкообразная – S2; 200–250 нм, сферическая – S3; 1–2 мкм, оскольчатая – S4. Образец S5 представляет собой крупные агрегаты, состоящие из частиц размером менее 10 нм, частицы S6 обладают сферической формой и средним размером 55 нм.

Проведенный сравнительный анализ поверхностных свойств образцов показывает широкий разброс в значениях удельной поверхности – от 105 до 1713 м²/г (табл. 1). Концентрация ОН-групп на поверхности образцов диоксида кремния, определенная по данным ТГ анализа, изменяется от 3,11 до 8,71 ммоль/г. Наибольшее содержание реакционноспособных силанольных групп наблюдается в образцах с развитой внутренней структурой и высокой удельной поверхностью (S1 – S4). Из данных табл. 1 видно, что гидрофобизация поверхности частиц диоксида кремния приводит к снижению значений удельной поверхности.

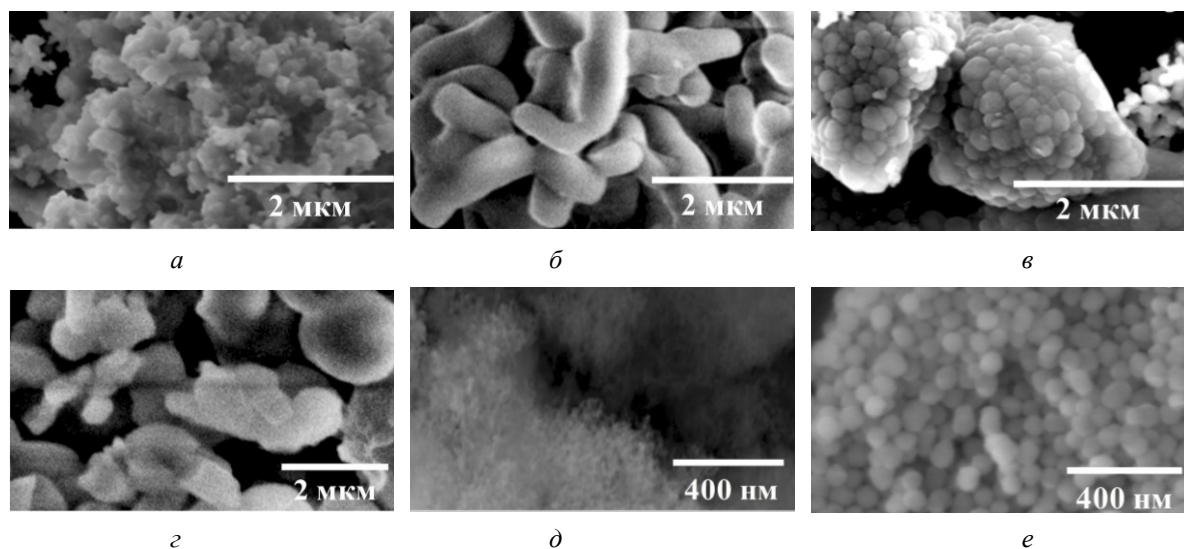


Рис. 1. СЭМ изображения образцов диоксида кремния: а – S1, б – S2, в – S3, г – S4, д – S5, е – S6

Таблица 1

Текстульные характеристики образцов диоксида кремния до и после модификации ПМГС

Образец	Доля ПМГС, мас. %	C _{ОН} , ммоль/г	S _{ВЕТ} , м ² /г	
			до модификации	после модификации
S1	20,0	7,89	783	367
S2	20,0	7,48	1418	895
S3	20,0	5,89	1713	910
S4	20,0	8,71	852	398
S5	13,0	3,11	321	244
S6	3,5	4,40	105	96

Экспериментально обнаружено, что 20 мас. % полиметилгидросилоксана является количеством, обеспечивающим достаточно полное взаимодействие силанольных групп поверхности образцов диоксида кремния *S1–S4*, имеющих организованную систему пор, с молекулами гидрофобизатора (рис. 2, табл. 1). В этом случае образцы *S1–S4* являются супергидрофобными и краевой угол смачивания составляет более 160° . При концентрации ПМГС менее 20 мас.% образцы *S1–S4* остаются гидрофильными. Высокая доля ПМГС (20 мас.%), необходимая для гидрофобизации поверхности образцов этой группы, связана с высокой удельной поверхностью диоксида кремния и, как следствие, с высоким содержанием силанольных групп. Для гидрофобизации непористых образ-

цов *S5, S6*, с меньшим содержанием силанольных групп (см. табл. 1), требуется меньшее количество гидрофобизатора, необходимое для достижения супергидрофобного состояния их поверхности.

Совместная оценка изменений краевого угла смачивания и склонности к влагопоглощению модифицированных образцов диоксида кремния позволила установить оптимальную концентрацию ПМГС, обеспечивающую получение функционального наполнителя с наибольшей плотностью прививки, что соответствует краевому углу смачивания более 160° и минимальному влагопоглощению (рис. 3). На примере образцов *S5* и *S6* показано, что необходимое количество ПМГС составило 13 мас.% и 3,5 мас.%, соответственно.

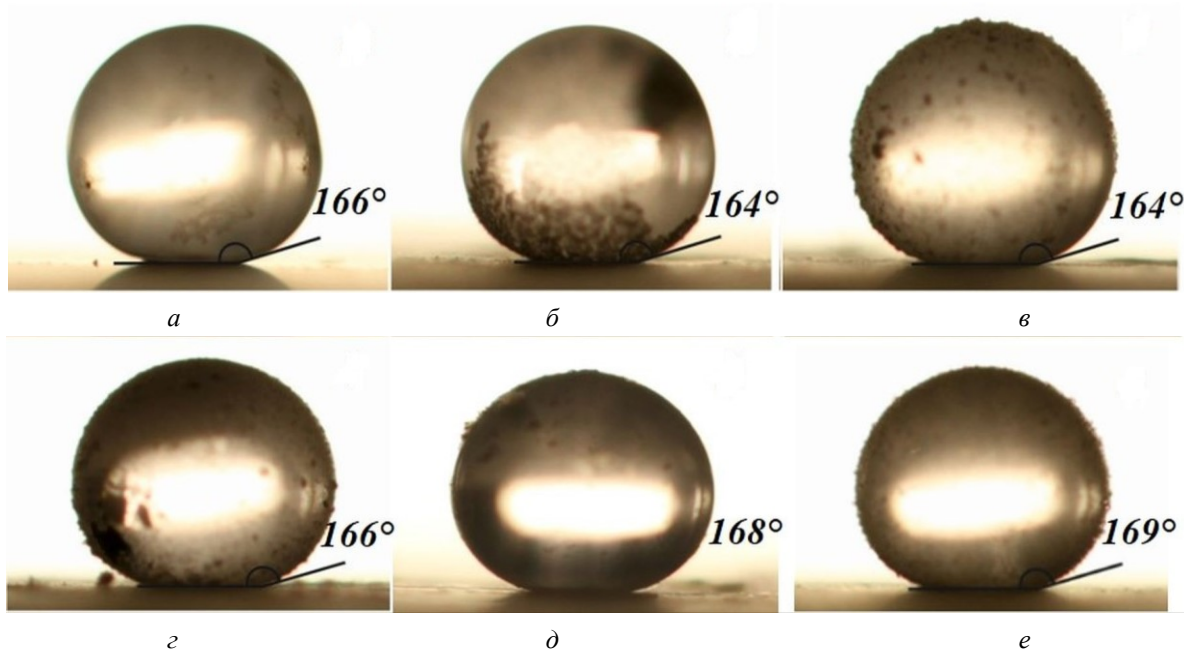


Рис. 2. Краевой угол смачивания воды на поверхности частиц диоксида кремния, модифицированных ПМГС: а – *S1*; б – *S2*; в – *S3*; г – *S4*; д – *S5*; е – *S6*

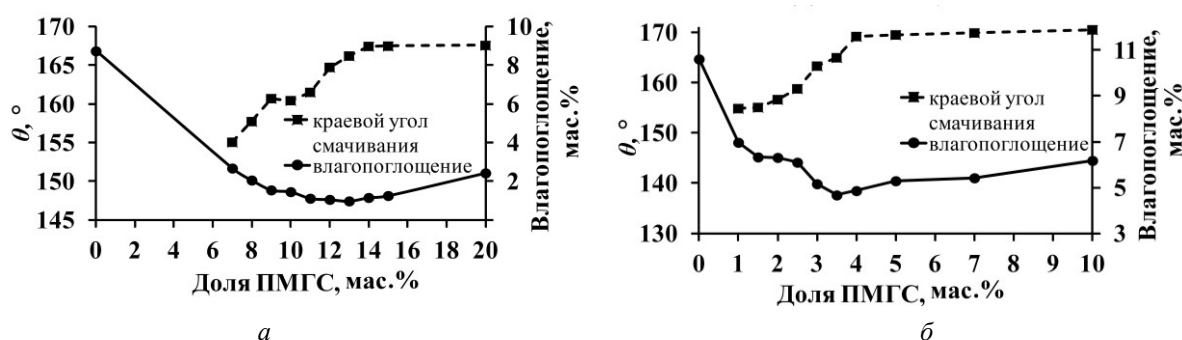


Рис. 3. Изменение краевого угла смачивания воды и склонности к влагопоглощению функционального наполнителя (а – *S5*, б – *S6*) от количества ПМГС

Исследования влияния модифицированных полиметилгидросилоксаном функциональных наполнителей на текучесть порошковых составов проводились на фосфатах аммония с размером частиц менее 50 мкм, где средний диаметр составил 28,9 мкм. Известно влияние размера частиц тушащего компонента на эффективность пожаротушения составов, показывающее неоспоримое преимущество мелкоизмельченных частиц [12], где большая площадь поверхности способствует большей скорости поглощения тепла. Однако фракция порошковых составов с наименьшим размером частиц проявляет наибольшее сопротивление сдвигу – когезия составляет 1,430 кПа, функция истечения равна 3,12

(«когезионные порошки»). Такие частицы составляют не менее 40% от пожаротушащего компонента [13, 14], и, следовательно, улучшение их текучести позволяет гарантировать высокие показатели течения полифракционного состава в целом.

Сепарационное и опудривающее действие функциональных наполнителей хорошо видно на изображениях СЭМ составов, где частицы рассматриваемых образцов гидрофобизированного диоксида кремния образуют защитные покрытия (рис. 4).

Сформированное покрытие на поверхности частиц фосфатов позволяет получить составы с супергидрофобными свойствами, характеризующимися значениями краевого угла смачивания более 160° (рис. 5).

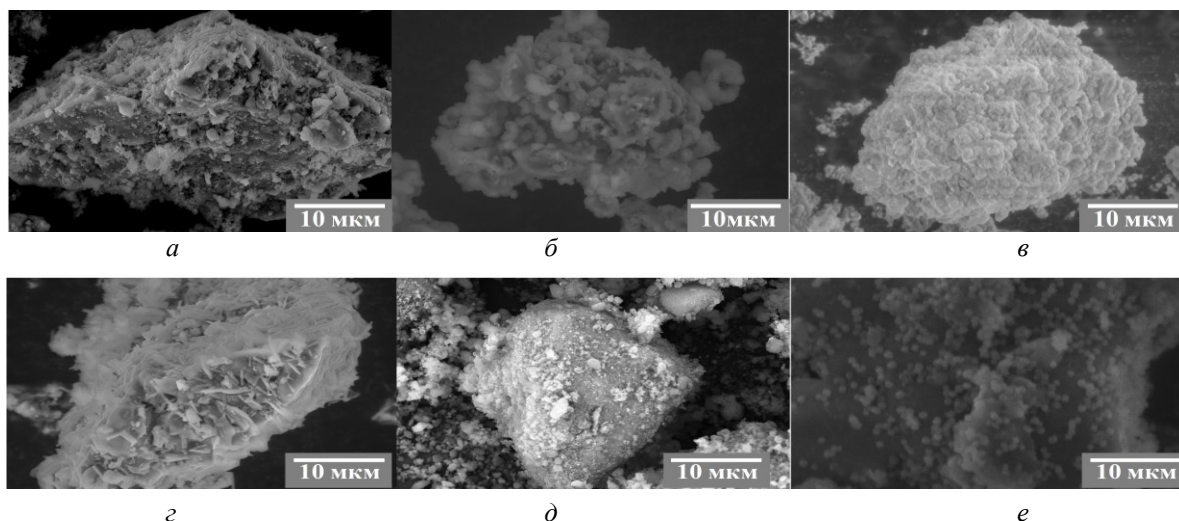


Рис. 4. СЭМ изображения фосфатов аммония, покрытых модифицированными частицами диоксида кремния: а – S1; б – S2; в – S3; г – S4; д – S5; е – S6

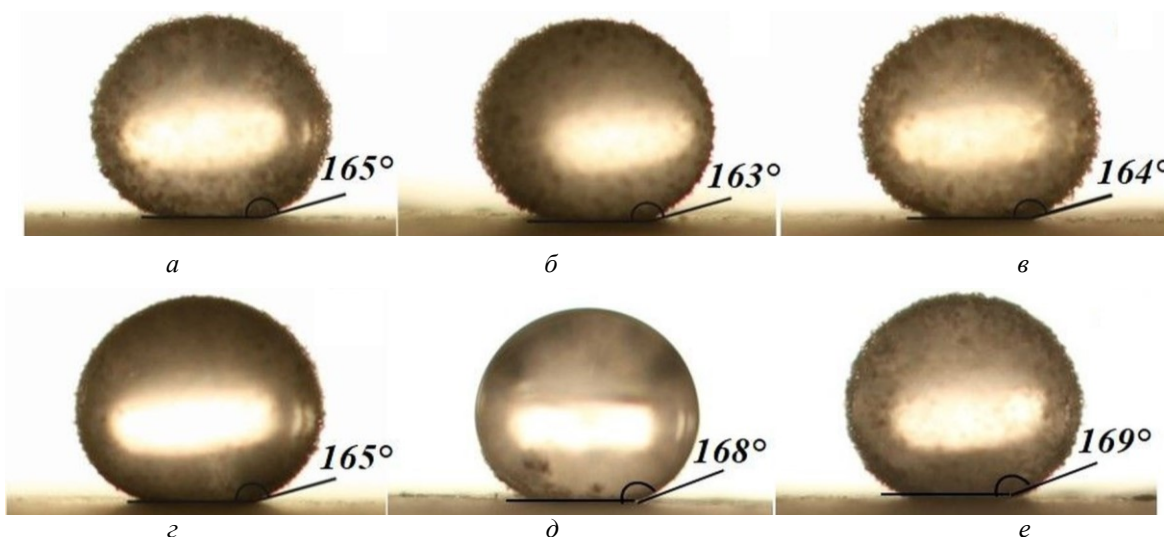


Рис. 5. Краевой угол смачивания воды на поверхности огнетушащих составов ($d < 50$ мкм), содержащих функциональный наполнитель: а – S1; б – S2; в – S3;

Экспериментально определено минимальное количество модифицированного диоксида кремния S_n , при котором составы проявляют супергидрофобные свойства (см. табл. 2). Количество наполнителя, необходимое для формирования покрытия, значительно различается для рассматриваемых образцов диоксида кремния.

Из результатов оценки реологических свойств супергидрофобных порошковых составов следует, что «легко текучими», согласно значению коэффициента функции истечения (КФИ) – $4 < \text{КФИ} < 10$, являются составы (см. табл. 2), содержащие функциональные наполнители $S3$ – $S6$. Средний размер их агломератов изменяется от 173 до 55 нм. Составы, содержащие гидрофобизированные функциональные наполнители $S1$ и $S2$, относятся к классу «когезионных» – $2 < \text{КФИ} < 4$. Наименьшее значение когезии и, следовательно, наименьшее сопротивление течению наблюдается в составе, где в качестве функционального наполнителя использовался образец $S6$ (см. табл. 2). В этом случае значение КФИ равно 7,8, а когезия составляет 0,567 кПа.

Из результатов оценки реологических свойств порошковых составов следует, что наименьшее сопротивление течению наблюдается при использовании в качестве функциональных наполнителей предварительно гидрофобизированных образцов диоксида кремния $S5$ и $S6$. Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что эффективность рассматриваемых наполнителей значительно возрастает с уменьшением разме-

ра их агломератов. Лучшие показатели были достигнуты при использовании не склонного к агломерации наполнителя $S6$, что позволяет покрыть поверхность фосфатов единичными супергидрофобными сферическими частицами диоксида кремния.

Сравнение технических характеристик ОПС с супергидрофобным функциональным наполнителем $S6$ и коммерческих аналогов (Vekson ABC 50 EN (Россия), Adex ABC (Польша), Glutex ABC (Германия)) доказало достижение более высоких показателей текучести, гидрофобности и пожаротушающей эффективности.

Изображения СЭМ коммерческих огнетушащих составов на примере образца Vekson ABC 50 EN показывают, что частицы тушащего компонента имеют неправильную форму и покрыты крупными агломератами наполнителя, предположительно аморфным диоксидом кремния (рис. 6). Изображения СЭМ коммерческих составов Adex ABC и Glutex ABC выглядят аналогично. Сравнительная оценка краевого угла смачивания поверхности ОПС показывает преимущество разработанного состава ($\theta=168^\circ$) перед коммерческими, для которых его значение не превышает 155° (рис. 7).

Оценка сопротивления динамическому течению мелкодисперсных частиц ($d < 50$ мкм) тушащего компонента, разработанного ОПС и коммерческих аналогов, показывает преимущества использования супергидрофобного наполнителя $S6$ (рис. 8). Разработанный ОПС демонстрирует более низкое значение основной энергии

Таблица 2

Технические характеристики огнетушащих составов ($d < 50$ мкм) при использовании различных функциональных наполнителей

Образец	Доля наполнителя, мас. %	Размер агломератов наполнителя, нм	Влагопогл., мас. %	Когезия, кПа	КФИ
Фосфат аммония +	–	–	1,60	1,430	3,12
	S1	7,0	0,89	1,320	3,60
	S2	14,0	0,80	1,050	3,65
	S3	16,0	0,71	0,960	4,69
	S4	9,0	0,95	0,880	5,12
	S5	3,5	1,00	0,830	5,25
	S6	5,0	0,90	0,567	7,80

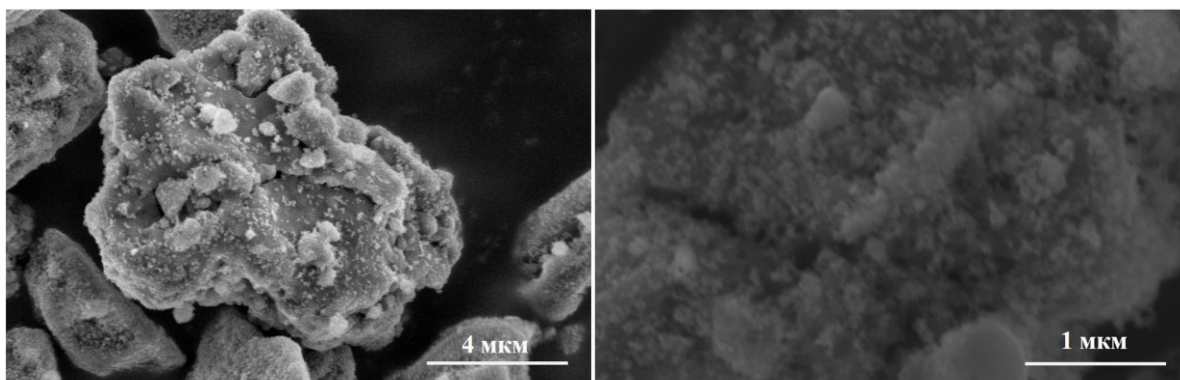


Рис. 6. SEM изображение частиц тушающего компонента Vekson ABC 50 EN

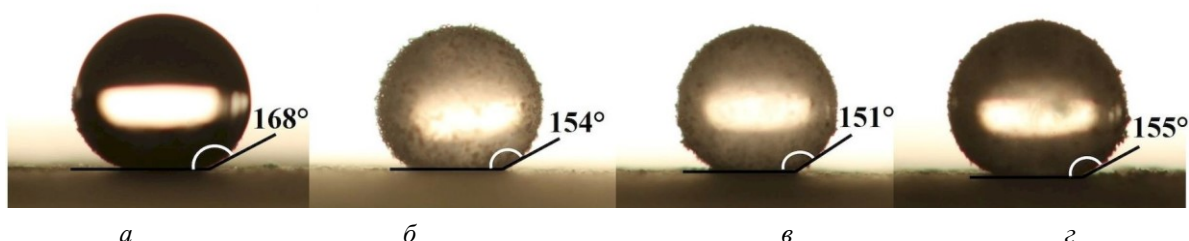


Рис. 7. Краевой угол смачивания на поверхности образцов:
а – разработанный ОПС; б – Vekson ABC 50 EN; в – Adex ABC; г – Glutex ABC

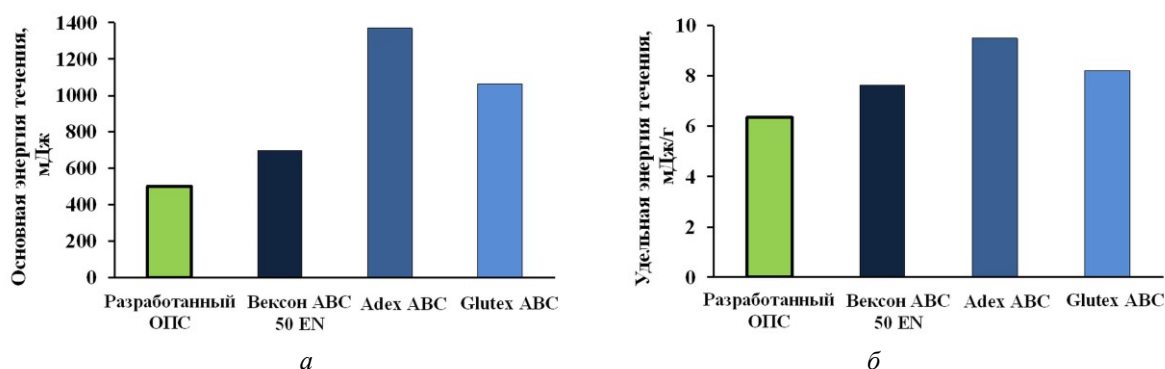


Рис. 8. Сравнение технических характеристик разработанного ОПС и его аналогов

течения (205 мДж) и, соответственно, малое межчастичное взаимодействие по сравнению с коммерческими ОПС (рис. 8, а). Установленное значение удельной энергии течения (5,00 мДж/г) позволяет отнести ОПС к порошкам с низкой когезией (рис. 8, б). При этом удельная энергия течения для коммерческих порошков находится в интервале от 5 до 10 мДж/г, что характерно для составов с умеренной когезией.

Проведенные огневые испытания (рис. 9) разработанного ОПС позволили определить значения показателей удельной эффективности тушения (УЭТ) твердых (0,15 кг/м²) и жидких (0,47 кг/м²) горючих материалов. Из табл. 3 видно, что показатели УЭТ для разработанного ОПС улучше-

ны в среднем на 25 и 50 % в сравнении с коммерческими огнетушащими составами

Таким образом, оценка способности образцов порошковых составов, используемых в системах пожаротушения, ингибировать разложение горючих материалов явно демонстрирует преимущество разработанного ОПС, который демонстрирует лучшие показатели текучести, влагостойкости и пожаротушающей эффективности среди составов, применяемых в порошковых системах пожаротушения.

Заключение

С целью создания высокоэффективного огнетушащего порошкового состава были исследованы условия получения супергид-

Сравнение огнетушащей эффективности разработанного ОПС и его аналогов

Критерии	Разработанный ОПС	Аналоги		
		Вексон ABC 50 EN	Adex ABC	Glutex ABC
УЭТ – класс А, кг/м ²	0,15	0,24	0,19	0,16
УЭТ – класс В, кг/м ²	0,47	1,04	1,04	0,71



Рис. 9. Тест эффективности тушения модельного очага класса В (бензин, площадь 1,75 м²) с огнетушителем (объем 2,5 л), заполненным разработанным ОПС

рофобных функциональных наполнителей на основе нано- и микродисперсных частиц диоксида кремния с различными текстурно-структурными характеристиками, их влияние на реологические и эксплуатационные свойства порошковых составов.

Установлено, что концентрация гидрофобизирующего реагента – полиметилгидросилоксана, необходимая для достижения супергидрофобного состояния наполнителей, снижается с уменьшением удельной поверхности рассматриваемых образцов диоксида кремния. Наименьшее количество ПГМС – 3,5 мас.%, потребовалось для гидрофобизации непористого диоксида кремния с удельной поверхностью, равной 96 м²/г. При использовании этого напол-

нителя в составе огнетушащих порошков достигаются наилучшие реологические показатели – основная энергия течения 732 мДж, удельная энергия течения 7,87 мДж/г, когезия 0,395 кПа, коэффициент функции истечения 10,3. Подтверждено, что избыточное введение наполнителя после достижения составом супергидрофобного состояния приводит к ухудшению характеристик.

Таким образом, применение в качестве функционального наполнителя ОПС супергидрофобного монодисперсного диоксида кремния с размером сферических частиц ~55 нм позволило создать огнетушащий порошок, удельная эффективность которого превосходит лучшие российские и импортные аналоги в среднем на 25–50%.

Библиографический список

1. Гордиенко Д.М. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году. – М.: ВНИИПО, 2018. – 125 с.
2. Спичкин Ю.В. Современное состояние физико-химических представлений об особенностях прекращения горения с использованием дисперсных материалов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2014. – Вып. 2. – № 11. – С. 7–12.
3. Баратов А.Н. Порошковое пожаротушение // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 8. – С. 34 – 40.
4. Сабинин О. Ю. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние // Пожаровзрывобезопасность. - 2007. – Т. 16. – № 6. – С. 63 – 68.
5. Saenko E.V., Huo Y., Shamsutdinov A.Sh., Kondrashova N.B., Valtsifer I.V., Valtsifer V.A. Mesoporous Hydrophobic Silica Nanoparticles as Flow-Enhancing Additives for Fire and Explosion Suppression Formulations // ACS Applied Nano Materials. – 2020. – Vol. 3. – № 3. – P. 2221–2233.
6. Кондрашова Н.Б., Шамсутдинов А.Ш., Вальцифер И.В., Старостин А.С., Вальцифер В.А. Гидрофобизированные кремнеземы как функциональные наполнители огнетушащих порошковых составов // Неорганические материалы. – 2018. – Т. 54. – № 10. – С. 1141–1146.
7. Кондрашова Н.Б., Нечаев А.И., Саенко Е.В., Звездин В.Н., Вальцифер В.А., Стрельников В.Н. Сравнительная оценка структурных особенностей и размера частиц кремнезёмов, полученных различными способами // Перспективные материалы. – 2014. – № 2. – С. 33 – 40.
8. Kondrashova N.B., Saenko E.V., Lebedeva I.I., Valtsifer V.A., Strelnikov V.N. Effect of organic-silane additives on textural-structural properties of mesoporous silicate materials // Microporous and mesoporous materials. – 2012. – Vol. 153. – P. 275 – 281.
9. Кондрашова Н.Б., Вальцифер И.В., Шамсутдинов А.Ш., Старостин А.С., Вальцифер В.А. Регулирование реологических свойств порошковых композиций на основе фосфатно-аммониевых солей и гидрофобизированного оксида кремния // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т. 90. – № 10. – С. 1309–1314.
10. Shamsutdinov A.Sh., Kondrashova N.B., Valtsifer I.V., Bormashenko E., Huo Y., Saenko E.V., Pyankova A.V., Valtsifer V.A. Manufacturing, Properties and Application of Nanosized Superhydrophobic Spherical Silicon Dioxide Particles as a Functional Additive to Fire Extinguishing Powders // Ind. Eng. Chem. Res. American Chemical Society. – 2021. – Vol. 60. – № 32. – P. 11905–11914.
11. Ek S. Determination of the hydroxyl group content in silica by thermogravimetry and a comparison with ¹H MAS NMR results // Thermochim. Acta. – 2001. – Vol. 379. – P. 201 – 212.
12. Долговидов А.В. Автоматические установки порошкового пожаротушения – М.: Пожнаука, 2008. – 322 с.
13. Fire Protection - Fire Extinguishing Media – Powder: ISO 7202:2012. - ISO Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012. – 23 p.
14. Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems: NFPA-17. – National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 1998.

HIGHLY EFFICIENT FIRE-EXTINGUISHING POWDER

I.V. Valtsifer, A.Sh. Shamsutdinov, N.B. Kondrashova, A.V. Pyankova

Institute of Technical Chemistry UB RAS

For citation:

Valtsifer I.V., Shamsutdinov A.Sh., Kondrashova N.B., Pyankova A.V. Highly efficient fire-extinguishing powder // Perm Federal Research Center Journal. – 2022. – № 2. – P. 6–16. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.2.1>

Fire-extinguishing powders based on ammonium phosphates (FEP) have a high specific fire-extinguishing ability. However, during storage, their technical characteristics deteriorate, which reduces the efficiency to extinguish fire. To solve this problem, the authors have considered a promising direction for improving the technical properties of FEP by using superhydrophobic functional additives based on silicon dioxide particles.

The paper discusses methods for manufacturing fire-extinguishing powder using superhydrophobic silicon dioxide particles with different textural and structural properties and apparent contact angles more than 160°.

Based on the results of rheological tests, the main characteristics of functional additives (particle size, shape, apparent contact angle) were determined. Their influence on the fire-extinguishing efficiency of FEP was proven. It was shown that the addition of modified silicon dioxide with monodisperse spherical particles (~55nm) into the FEP provides high flowability, superhydrophobicity (apparent contact angle 168°) and low moisture absorption.

The developed functional additive made it possible to manufacture FEP that demonstrates the best among analogues characteristics of fire-extinguishing efficiency, moisture resistance and flowability.

Keywords: fire-extinguishing powder, functional additive, nano- and microparticles of silicon dioxide, superhydrophobicity, cohesion, rheological characteristics.

Сведения об авторах

Вальцифер Игорь Викторович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт технической химии УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИТХ УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева 3; e-mail: Igor12381@mail.ru

Шамсутдинов Артем Шамилевич, кандидат технических наук, научный сотрудник, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: literus12@gmail.com

Кондрашова Наталья Борисовна, кандидат химических наук, научный сотрудник, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: kondrashova_n_b@mail.ru

Пьянкова Анна Вальерьевна, аспирант, инженер, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: annu.pyankova@gmail.com

Материал поступил в редакцию 10.03.2022 г.