

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
2. ГОСТ 30247.1-94. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
3. ISO 834-75. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements.
4. ASTM E-119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
5. *Shutov F.A. et al.* Foam Based on Reactive Oligomers, Technomic, Society of Plastics Engineers USA, 1982.
6. *Шутов Ф.А.* Передовая технология каркасно-панельного домостроения СИП (SIP), РФ, Ассоциация СИП, 2012. – С. 93-97.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Пузач.

Шутов Федор Анатольевич – ООО «НПК ПЕНОКОМ»; e-mail: fashutov@mail.ru; 115409, Москва, ул. Москворечье, 55, корп. 1; тел.: +74956556835; президент.

Shutov Fyodor Anatol'evich – “NPK PENOCOM, Inc.”; e-mail: fashutov@mail.ru; 55, Moskvorechie, korp. 1, Moscow, 115409, Russia; phone: +74956556835; president.

Щербанев Игорь Владимирович – e-mail: dronni2008@mail.ru; генеральный директор.

Scherbanev Igor Vladimirovich – e-mail: dronni2008@mail.ru; general manager.

Сивенков Андрей Борисович – Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; e-mail: sivenkov01@mail.ru; 129311, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; тел.: 84956172626, 89161745244; заместитель начальника УНЦ ППБС – начальник научно-исследовательского отдела проблем пожарной профилактики в строительстве и сертификации; к.т.н.; доцент.

Sivenkov Andrey Borisovich – State Fire Academy (University), Ministry of Civil Protection and Emergency Situation and Disaster Management of Russia; e-mail: sivenkov01@mail.ru; 4, B. Galushkina, Moscow, 129344, Russia; phone: +74956172626, 89161745244; vice director of education and research center in fire protective treatment and certification; cand. of eng. sc.; associated professor.

УДК 630.432

В.В. Богданова, О.И. Кобец

**СИНТЕЗ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ И ТОРФА
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

С использованием в качестве исходных реагентов недефицитных природных силикатов (бентонита, трепела), неорганических кислот и щелочных агентов получены суспензии ортофосфатов двух-, трехвалентных металлов-аммония, обладающие комплексными огнезадерживающими свойствами одновременно к древесине и торфу. Исследованы факторы, оказывающие влияние на их огнезащитно-огнетушащую эффективность и атмосферостойкость: фазовый состав, дисперсность и массовое соотношение жидкостного и нерастворимого компонентов суспензий, а также степень удерживания азот- и фосфорсодержащих соединений в материале. Установлено, что лучшие огнезадерживающие свойства и атмосферостойкость характерны для суспензий с большим содержанием мелкодисперсных частиц аморфного нерастворимого компонента как в нано-, так и в микродиапазоне. Предположено, что в этом случае обеспечивается прочное удерживание огнезащитного средства в порах горючего материала.

Суспензии фосфатов металлов-аммония; огнезащитно-огнетушащие свойства по отношению к древесине и торфу; атмосферостойкость.

V.V. Bogdanova, O.I. Kobets

**SYNTHESIS OF FLAME RETARDANTS FOR WOOD AND PEAT
ON THE BASIS OF NATURAL MINERALS AND THEIR
PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES**

The stable aqueous suspensions of ammonium bi-, trivalent- metalphosphates were synthesized by the use of local mineral raw material (bentonitic clay, bergmeal), inorganic acids and alkaline agents. The phase structure, particles size of a dispersed phase in micro- and nano-range, fireproof and fire-extinguish properties of suspensions for wood and peat were investigated. It was found, that the weather resistance of suspensions is determined by the nature of chemical compound, the particles size, the mass ratio of insoluble and soluble components and their resistant holding in the pores of the wood.

Suspensions of ammonium metalphosphates; fireproof and fire-extinguish properties; prevention of a burning of wood and peat; weather resistance.

Ранее нами установлено [1], что синтетические фосфаты двух- и трехвалентных металлов-аммония являются удобными объектами для получения огнезащитно-огнетушащих составов (ОС) для древесины и торфа, а также исследования механизма их огнезадерживающего действия вследствие возможности направленного изменения на стадии синтеза химического состава и физико-химических свойств. В настоящее время при создании новых ОС важными критериями применимости на практике является возможность комплексного действия: высокая эффективность при огнезащите древесины и тушении торфа. Одновременно необходимо стремиться к снижению стоимости разрабатываемых огнепреграждающих средств и увеличению устойчивости к воздействию атмосферных осадков.

В данной работе с целью обеспечения комплексных огнезадерживающих свойств одновременно к древесине и торфу проведены синтезы ОС с использованием недефицитного природного сырья (бентонит, трепел) и исследованы факторы, оказывающие влияние на их огнезащитную, огнетушащую эффективность и атмосферостойчивость. В сопоставительном плане исследовали разработанные ранее специализированные ОС [2, 3]: для древесины – Метафосил (ОС1), для торфа – Тофасил (ОС2).

Огнезащитные свойства синтезированных суспензий по отношению к древесине определяли по ГОСТ 16363 с дополнительной фиксацией температуры отходящих газов (T_r), а огнетушащие свойства по отношению к торфу – по трем параметрам (смачивающая способность торфа растворами ОС (%·г⁻¹), потеря массы огнезащищенными образцами торфа при огневом воздействии и их зольность), сопоставительно характеризующим состояние в зоне горения торфа, исходного и огнезащищенного различными ОС. Атмосферостойчивость определяли как способность нанесенных на древесину ОС сохранять огнезащитные свойства после обработки образцов водой [4]. Степень удерживания ОС в древесине определяли по остаточной массе огнезащищенных образцов после водных обработок. Дисперсность частиц нерастворимого компонента суспензий определяли с помощью оптической микроскопии, размер коллоидных частиц жидкостного компонента устанавливали методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), образцы препарировали нанесением капли суспензии на коллодиевую пленку.

В табл. 1 и 2 приведены данные по химическому составу и огнезащитно-огнетушащим свойствам продуктов синтеза. Сравнением огнетушащей эффективности синтезированных продуктов по отношению к древесине и торфу установлено, что наиболее высокая комплексная эффективность присуща бентонитсодер-

жащим ОС 5 и ОС 6. Кроме того, обращает на себя внимание ОС 9, полученный на основе трепела. Его эффективность при тушении торфа наиболее высокая (минимальная Δm), а при тушении древесины расход состава на ликвидацию горения очага сопоставим с этим же параметром для специализированного ОС 1.

Из сопоставления данных (табл. 2) по атмосфероустойчивости следует, что в результате обработки водой огнезащитная способность всех ОС падает, но из всех испытанных составов ее минимальные изменения наблюдаются для ОС 1, ОС 5 и ОС 6. Для них сохраняется первая группа огнезащитной эффективности ($\Delta m \leq 9\%$). Остальные продукты синтеза после водных обработок огнезащитной ими древесины относятся ко второй группе огнезащитной эффективности ($\Delta m \leq 25\%$).

Таблица 1

Содержание основных компонентов металлофосфатных суспензий

№ ОС	Недефицитное сырье	Содержание основных компонентов ОС*										
		Al ₂ O ₃	ZnO	MgO	CaO	P ₂ O ₅	SO ₃	B ₂ O ₃	HCl	NH ₃	Na ₂ O	K ₂ O
1	ОС1	1	2,4	0	0	17,3	0	0	0	3,9	0	0
2	ОС2	1	2,4	0	0	30,3	0	0,4	0	8,9	0	0
3	Бентонит	0,32	0	0	0,8	15,9	7,9	0	0	8	2	0
4	Бентонит	0,32	0	0	0,8	15,9	7,9	0	0	8	0	2
5	Бентонит	0,32	0	0	0,8	14,9	0	0	2,6	10,1	2,4	0
6	Бентонит	0,32	0	0	0,8	14,9	0	0	2,6	10,1	0	2,4
7	Трепел	0,17	0	0	0	8,0	5,9	0	0	2,5	5,45	0
8	Трепел	0,17	0	0	0	8,0	5,9	0	0	2,5	0	5,5
9	Трепел	0,17	0	0,4	0	11,7	0	0	2,8	3,4	0	4,8

* – Содержание SiO₂ во всех суспензиях одинаково – 1

ПЭМ исследование коллоидных частиц жидкостного компонента суспензий 15 % концентрации (рисунок) показало наличие частиц сферической формы как в одиночном состоянии, так и в виде их агломератов, размеры которых в основном находятся в диапазоне 50–250 нм. Необходимо отметить, что подавляющая часть (~70 %) коллоидных частиц жидкостного компонента ОС 6, наиболее устойчивого к водным обработкам, имеют диаметры от 50 до 75 нм. Для сравнения, в жидкостном компоненте менее атмосферостойких ОС 8 и ОС 9 около 50–65 % частиц находятся в диапазоне 75–125 нм.

Согласно результатам исследования дисперсности нерастворимого компонента около 80 % частиц дисперсной фазы суспензий ОС 1, ОС 6, ОС 9 имеют размер, не превышающий 5 мкм. Наименее эффективная суспензия (ОС 8) содержит наименьшую долю (66 %) частиц такого же размера.

Таблица 2

Огнезащитные и огнетушащие свойства продуктов синтеза

№ ОС	Огнезащитная эффективность* по отношению к древесине, ГОСТ 16363				Огнетушащая эффективность			
	Δt , %	T_z , °C	после водной обработки		по отношению к древесине, $\text{дм}^3/\text{м}^2$	по отношению к торфу		
			Δt , %	T_z , °C		Δt , %	смачивающая способность, %/г	зольность, %
вода	39,1	627	–	–	0,31	46,6	7,6	10,9
1	8,6	268	8,0	254	0,18	5,8	14	21
2	10,0	272	–	–	0,25	5,1	14	22,6
3	8,1	194	10,2	288	0,17	2,2	15,7	23,3
4	6,4	199	10,1	228	0,17	2,0	14,9	23,3
5	6,7	172	5,0	178	0,13	1,6	17,1	25,7
6	6,2	174	4,0	176	0,11	1,8	17,1	25,2
7	11,6	269	20,7	422	0,16	3,7	14,1	25,1
8	18,8	317	23,6	564	0,20	2,9	11,8	25,4
9	8,7	201	20,6	462	0,21	1,1	16,1	22,8

* – Содержание сухих ОС на всех образцах древесины одинаково – 7,5 %

Из полученных результатов следует, что низкая атмосфероустойчивость и огнезащитная эффективность суспензии ОС 8 обусловлена низкой дисперсностью частиц как в микро-, так и в нанодиапазоне по сравнению с эффективным и устойчивым к воздействию влаги ОС 6. Кроме того, причину высокой атмосферостойкости ОС 1 и ОС 6, по-видимому, можно объяснить большим содержанием (в 10 раз) нерастворимого мелкодисперсного остатка в рабочих растворах 15 % концентрации по сравнению с ОС 8 и ОС 9.

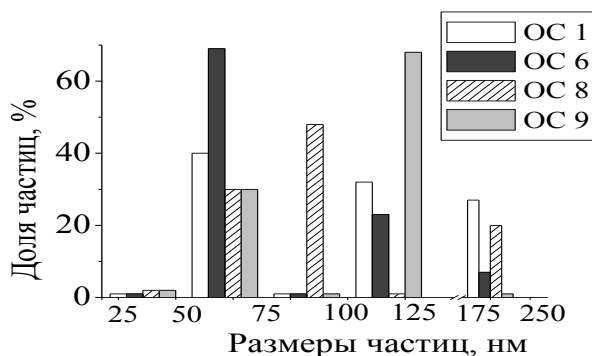


Рис. 1. Распределение частиц по размерам в жидкостных компонентах ОС с концентрацией 15 %

Более высокая дисперсность компонентов суспензии ОС 6 обеспечивает наилучшую степень ее удерживания в порах и на поверхности древесины. Так, после испытаний устойчивости к водным обработкам содержание ОС 6 в образце древесины практически не изменяется, тогда как в случае других суспензий (ОС 1, ОС 8, ОС 9) в тех же условиях испытаний потеря массы сухого вещества с поверхности древесины составляет более 25 %.

Проведенные исследования свидетельствуют о принципиальной возможности использования местного минерального сырья (трепела и бентонита) для получения атмосфероустойчивых водных суспензий ортофосфатов, обладающих огнезащитно-огнетушащими свойствами по отношению к древесине и торфу. Установлено, что максимально эффективны и наиболее атмосферостойки суспензии, полученные с использованием бентонита и соляной кислоты. Установлено, что максимальное сохранение огнестойких свойств после водных обработок огнезащищенной древесины характерно для суспензии ОС 6. Предположено, что высокая атмосферостойкость ОС 6 обусловлена более высоким содержанием как в жидкостном, так и в нерастворимом компонентах состава мелкодисперсных частиц, способных проникать вглубь древесного пористого материала, что в свою очередь обеспечивает прочное удерживание огнезащитного средства во время водных обработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 *Богданова В.В., Кобец О.И.* Свиридовские чтения // Сборник статей. – Минск, 2011. – Вып. 7. – С. 21-27.
- 2 Состав для профилактики, локализации лесных пожаров и/или борьбы с ними: пат. 2149 Респ. Беларусь, МПК А 62 Д 1/00, С 09 К 21/02 / Л.В. Кобец, В.В. Богданова, Н.М. Кобзева; заявитель НИИ ПФП БГУ, НИИ ФХП БГУ, Гомельский хим. завод. – № 950285; заявл. 08.06.95. Оpubл. 30.06.98.
- 3 Огнетушащий состав для подавления торфяных пожаров: пат. 8729 Респ. Беларусь, МПК А 62 Д 1/00, А 62 С 3/00 / В.В. Богданова, О.И. Кобец, В.Г. Тищенко; заявитель Учреждение Белорусского государственного университета НИИ ФХП БГУ. – №а20040461; заявлено 21.05.2004; опубл. 10.03.2007.
- 4 Методика определения атмосфероустойчивости огнетушащих химических составов (ОХС) для предотвращения и тушения лесных и торфяных пожаров: МИ 100050710.0098; введ. 16.06.2011 / НИИ ФХП БГУ, ГУО КИИ МЧС РБ. – Минск, 2011.

Статью рекомендовал к опубликованию к.х.н. Г.Л. Щукин.

Богданова Валентина Владимировна – Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (НИИ ФХП БГУ); e-mail: bogdanova@bsu.by; 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 14; тел.: +375172264697; д.х.н.; профессор; зав. лабораторией огнетушащих материалов.

Кобец Ольга Игоревна – e-mail: kobets@bsu.by; к.х.н.; старший научный сотрудник лаборатории огнетушащих материалов

Bogdanova Valentina Vladimirovna – Establishment of the Belarusian State University «Research Institute for Physical Chemical Problems» (RI PCP BSU); e-mail: bogdanova@bsu.by; 14, Leningradskaya street, Minsk, 220030; phone: +375172264697; dr. of chem. sc.; professor; head of the laboratory for fire retardant materials.

Kobets Olga Igorevna – e-mail: kobets@bsu.by; cand. of chem. sc.; researcher the Laboratory for fire retardant materials.