

публикация [12]. Обобщая, можно сделать вывод, что двойные олиго- и циклические конденсированные фосфаты галлия и скандия с некоторыми щелочными металлами в принципе изоморфны соответствующим соединениям галлия–серебра и скандия–серебра, хотя в ряде случаев получить чистые, беспримесные фазы последних – более сложная задача. Решение ее состоит в подборе оптимальных соотношений исходных компонентов и температурного интервала синтеза, иногда внесение затравки также способствует решению поставленной цели.

### **Список литературы**

1. A. Durif. *Crystal Chemistry of Condensed Phosphates*. Springer Sci& Business Media (2013) : 425.
2. A. Durif. *Solid State Sci.* (2005) 760 : 7.
3. I. V. Tananaev, X. Grunze, N. N. Chudinova. *Neorgan. Mater.* (1984) 887 : 20.
4. T. P. Marsh. PhD Thesis, University of Birmingham (2011) : 138.
5. Y. Begum. PhD Thesis, University of Birmingham, 2013.
6. M. Avaliani [et al.]. *Int. Conf. Innovative Technologies in Metallurgy and Materials Science*. Georgia (2015) 124 : 1.
7. I. Grunze, K. K. Palkina, N. N. Chudinova, M. A. Avaliani. *Energy Citations Database; Inorg. Mater.* OSTI ID: 5847982.-128 (2009) 23:4.
8. M. Avaliani. *ICAMT –Tbilisi* (2015) 240 : 1.
9. M. Avaliani. *Nano Studies* (2016) 135 : 13.
10. M. Avaliani [et al.]. *J. Chem. Chem. Eng.* (2017) 60 : 11.
11. Л. Н. Комиссарова. *Неорган. и аналит. Химия скандия*. М.: Эдиториал УРСС (2001) 512 : 1.
12. Н. П. Вассель [и др.]. *Изв. вузов. Физ.* (2011) : 2015.
13. E. V. Murashova, N. N. Chudinova. *Neorgan. Mater.* (2001) 1521 : 37.
14. П. П. Мельников, Л. Н. Комиссарова. *Координац. химия* (1988) 875 : 14.
15. V. A. Lyutsko, A. F. Selevich, E. R. Kutseva. *Inorg. Chem.* 1992) 512 : 37.
16. P. Zanello. *Chains, Clusters, Inclusion Compounds* <https://books.google.ge/books?isbn=0444597050> - (2012) 100 : 141.

## **Физико-химические, огнетеплозащитные свойства термовспенивающихся полимерных композитов с минеральными наполнителями**

В. В. Богданова, О. И. Кобец

НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, *e-mail: Kobets@bsu.by*

Пожары внутри зданий и сооружений, распространяющиеся по технологическим конструкциям (трубы, силовые кабели в полимерной

оплетке) из полимерных материалов, наносят серьезный экономический урон. Для создания огне-, теплоизолирующих барьеров, отсекающих распространение пламенного горения по полимерным конструкционным элементам, пронизывающим строение, востребованы противопожарные устройства, содержащие вкладыш из огнезащитного термовспенивающегося полимерного композиционного материала (ТПКМ). ТПКМ должен обладать рядом физико-химических, огнетеплозащитных, физико-механических свойств. Например, при огневом воздействии в течение определенного времени (15–180 мин) он должен обеспечивать температуру на необогреваемой поверхности защищаемой конструкции из полимерного материала не выше значения, при котором происходит падение ее прочности и начинается интенсивная термическая деструкция (120 °С). Одновременно ТПКМ должен быть эластичным, а продукты его термодеструкции, кроме высоких теплозащитных свойств, должны иметь необходимую прочность каркаса для сопротивления конвекционным потокам уноса.

С целью разработки эффективного недорогого термовспенивающегося композиционного полимерного материала с заданными свойствами исследовали термические свойства, вспенивающую способность, огнетеплозащитную эффективность ТПКМ, а также физико-механические свойства продуктов их прогрева в зависимости от природы и содержания связующего и наполнителей.

Для получения ТПКМ с оптимальным сочетанием заданных свойств в рецептуре композита варьировали содержание полимерного связующего, минеральных наполнителей, пенообразующих и карбонизирующих агентов. Связующее выбирали из следующих термопластичных и эластомерных полимерных материалов: низкомолекулярный полиэтилен, сэвилен, этилен-пропиленовый сополимер, атактический полипропилен, хлорпарафин, полиизобутиленовый каучук. В качестве наполнителей использовали слоистые и алюмо- и/или магний-, кальцийсиликатные минералы. Вспенивающие и карбонизирующие агенты выбирали из карбонат-, сульфат-, азот-фосфор-содержащих неорганических соединений, например, гидрокарбонат натрия, карбонат кальция и/или магния, сульфат аммония. Использовали также соединения титана, хрома, цинка, тиомочевину, уротропин, аминоксидин, сульфаминовую, шавелевую кислоты, акриламид, пентаэритрит, терморасширяющийся (интеркалированный) графит (ТРГ).

Установлено, что получение требуемых характеристик по эластичным свойствам, кратности вспенивания, механической прочности, теплозащитной способности вспененного слоя существенно зависит от содержания в композиции ТРГ и природы минерального наполнителя. При исследовании вспенивающей способности, плотности, прочности каркаса

прогретых при 20–500 °С образцов ТПКМ с различным содержанием ТРГ (2,5–30 %) обнаружено, что одновременно с увеличением кратности вспенивания в объеме от 2 до 60 раз, плотность карбонизованных продуктов снижается более чем в 20 раз, а механические свойства, определяемые по степени деформации под нагрузкой, ухудшаются на 40 %. Установлено, что для наиболее эффективных ТПКМ наилучшее сочетание эластичных свойств исходных композитов, кратности вспенивания и физико-механических показателей прогретых образцов достигается при 40 % содержании полимерного связующего и 10–17 % ТРГ. Обнаружено, что введение помимо ТРГ в композицию совместно с природным аломосиликатом или фосфорсодержащей солью соединений поливалентных металлов, минералов волокнистой или игольчатой структуры способствует усилению механической прочности карбонизованного продукта.

По данным дифференциального калориметрического анализа (ДСК) увеличение содержания ТРГ в образце ТПКМ от 2,5 до 10 % сопровождается уменьшением тепловыделения в 1,8 раза (с 11,5 до 6,2 мВт/мг). Это свидетельствует об изменении тепло-массообмена между конденсированной и газовой фазой термовспенивающегося полимерного композита, что способствует увеличению времени достижения критической температуры на поверхности защищаемого полимерного материала.

Проведены лабораторные испытания огнетеплозащитных свойств в условиях, приближенных к реальному пожару, установлено, что разрабатываемый ТПКМ по сравнению с зарубежным образцом имеет в 1,5 раза лучшие показатели по времени достижения предела огнестойкости защищаемой полимерной конструкции – трубы из полипропилена.

Таким образом, показана возможность создания эффективного, недорогого отечественного термовспенивающегося полимерного композиционного материала, обладающего удовлетворительными огнетеплозащитными свойствами. Исследованы зависимости физико-химических свойств полимерных композитов после теплового воздействия от природы и содержания основных компонентов, проведены лабораторные испытания огнетеплозащитных свойств наиболее эффективных композиций.