

doi: 10.5862/MCE.52.3

Повышение предела огнестойкости деформационных швов строительных конструкций с помощью интумесцентной герметизирующей композиции

*Магистрант И.А. Осипов;
к.т.н., доцент О.А. Зыбина,*

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Аннотация. В работе рассмотрена возможность повышения огнезащитной эффективности интумесцентной герметизирующей композиции для устройства теплоизолирующего узла при заделке деформационных швов между бетонными элементами.

Огнезащита строительных конструкций является составной частью общей системы мероприятия по обеспечению пожарной безопасности и огнестойкости зданий и сооружений. Она направлена на снижение пожарной опасности конструкций, обеспечение их требуемой огнестойкости. В число основных задач огнезащиты входят: предотвращение возгорания, прекращение развития начальной стадии пожара, снижение опасных факторов пожара и его локализация.

Разработанный материал может быть использован для герметизации различных соединений и швов в конструкциях, а также для локального уплотнения различных полостей и областей примыкания элементов.

Ключевые слова: интумесцентные материалы; огнезащитный герметик; огнезащита строительных конструкций

По статистике МЧС, в России при пожарах ежегодно гибнет около 15 тысяч человек, пострадавших насчитывается сотни тысяч человек [1]. Количество погибших при пожарах в России в 3–5 раз больше, чем в странах Европы, США, Канаде, Японии. Одна из основных опасностей при возникновении пожара в здании – снижение прочности и обрушение несущих конструкций под воздействием открытого пламени и высоких температур [2]. Огнезащита строительных конструкций является составной частью общей системы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и огнестойкости зданий и сооружений. Она направлена на снижение пожарной опасности конструкций, обеспечение требуемой огнестойкости. В число основных задач огнезащиты входят: предотвращение возгорания, прекращение развития начальной стадии пожара, снижение опасных факторов пожара и его локализация [3].

Здания большой протяженности подвержены деформациям под влиянием колебаний температуры наружного воздуха в течение года, неравномерных осадок грунта основания, сейсмических явлений и других причин. Для предупреждения появления трещин в несущих и ограждающих конструкциях предусматривают деформационные швы, разрезающие здание на отсеки [4]. Правильное проектирование, устройство и оформление деформационных швов имеют большое значение при строительстве, поскольку дают возможность обеспечить длительный срок службы основных несущих и ограждающих конструкций зданий, а также элементов внутренней и внешней отделки.

Деформационные швы являются элементами противопожарных преград, таких как стены, перегородки и перекрытия, и для них существуют требования по огнестойкости. Степень огнестойкости швов должна соответствовать нормативной огнестойкости строительной конструкции в целом [5]. Однако отдельных требований по устройству деформационных швов на сегодняшний момент не существует, что является серьезным, но, по всей видимости, временным упущением. Кроме того, очень скудным является ассортимент материалов, предназначенных для огнезащиты швов. При анализе рынка огнезащитных герметиков нам удалось встретить только продукты европейского производства, поэтому целесообразно создать отечественный материал. Таким образом, целью нашей работы стало создание и внедрение в производство герметизирующей огнезащитной композиции вспучивающегося типа для заделки деформационных швов с огнезащитной эффективностью не менее 180 минут.

Проблеме изучения механизма огнезащитного действия вспучивающихся материалов различного функционального назначения посвящено значительное количество работ [6–22]. Основным отличием такого рода составов является то, что при возникновении предельно высоких температур они увеличиваются в десятки раз в своем объеме, приводя к равномерному распределению температур и предоставляя дополнительное, необходимое для эвакуации людей и пожаротушения, время [7]. В зависимости от конкретного вида состава при воздействии огня в структуре краски начинаются физико-химические преобразования, в результате которых происходит существенное поглощение тепла. При этом выделяется множество негорючих соединений и газов, формируется объемная углеродистая пена, которая предохраняет находящиеся под ней конструкции и материалы от разрушения и деформации [8].

Суть огнезащитного действия герметика заключается в формировании субстратизирующего слоя благодаря комбинации процессов структурирования, синтеза полимерноолигомерных продуктов в процессе горения – коксообразования, карбонизации и терморасширения поверхности горящего материала. Образовавшийся пенококсовый слой выступает в качестве физического барьера, который снижает тепло- и массопереносы от газовой фазы к конденсированной. В результате затрудняется попадание газообразного топлива в пламенную зону и ограничивается поступление кислорода воздуха к защищаемому слою. За счет различных физико-химических превращений, претерпеваемых покрытием в процессе термодеструкции, осуществляется поглощение значительной части тепловой энергии. Выделяющиеся при пиролизе покрытия газообразные продукты, диффундируя в окружающую среду, охлаждают нагретые слои материала, дополнительно поглощая еще некоторое количество тепловой энергии. Немаловажное влияние на величины поглощения тепла оказывает состав и количество газообразных продуктов деструкции. Наибольшей теплопоглощающей способностью отличаются летучие продукты, содержащие в составе молекул значительное количество водорода – пары воды, аммиак. Следующий возможный фактор, в результате которого отводится еще некоторая часть тепловой энергии, – переизлучение тепла поверхностью интумесцентного слоя [23]. Некоторые авторы [24] указывают, что в случае образования пенного огнезащитного слоя теплопередача в сторону подложки уменьшается до 100 раз.

Нанесение огнезащитных составов проводится исключительно в условиях завершеного строительства.

Задача огнезащитного герметика в составе теплоизолирующей заделки шва – локализация распространения открытого пламени в случае возникновения пожара и воспрепятствование продымлению помещения за счет образования «пенококсового барьера».

Очевидно, что чем выше огнезащитные свойства герметика, тем дольше защищаемые конструкции и элементы зданий будут способны сопротивляться неблагоприятным факторам пожара.

Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции, признаков предельных состояний:

- потери несущей способности (R);
- потери целостности (E);
- потери теплоизолирующей способности (I) [5].

Стандартный температурный режим пожара используется для экспериментального определения предела огнестойкости строительных конструкций по ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30247.1 [25, 26]. Следует отметить, что отечественные методы количественной оценки предела огнестойкости строительных конструкций в печных устройствах и реализации температурно-временного режима пожара подобны стандартам ISO 834 и ASTM E-119 [27, 28].

На основании анализа литературы и патентных описаний рецептур [7–19] была разработана базовая рецептура огнезащитного герметика вспучивающегося типа (табл. 1). В его состав вошли обязательные [8–10] ингредиенты интумесцентных композиций, такие как меламин, пентаэритрит, полифосфат аммония, а также фторированный углерод (степень фторирования – 50 %), содержащий до 2 % фторированных фуллеренов производства ООО «Фактория ЛС». Фуллеренсодержащие сажи, как стало относительно недавно известно [23, 29–33], способны повышать огнезащитную эффективность интумесцентных материалов. Фторированный углерод повышает гидрофобность пленки герметика, а также препятствует образованию плесени.

Осипов И.А., Зыбина О.А. Повышение предела огнестойкости деформационных швов строительных конструкций с помощью интумесцентной герметизирующей композиции

Таблица 1. Базовая рецептура огнезащитного герметика

Компоненты	Содержание, % (масс.)
Пентаэритрит	11,0
Меламин	10,0
Микротальк	7,5
Вода	21,6
Полифосфат аммония	26,5
Акриловое связующее	20,6
Пластификатор	2,0
Фторированный углерод	0,8
Итого:	100

В соответствии с базовой рецептурой были изготовлены образцы огнезащитных вспучивающихся материалов, отличающиеся связующим полимером. Предварительную сравнительную оценку композиций осуществляли полуколичественными лабораторными методами. Так, например, интумесцентные свойства исследовали с помощью коэффициента вспучивания – показателя, который определяют путем термодеструкции покрытия, нанесенного толщиной в 1 мм на металлическую пластину [13]. Вспучивание покрытия проводят в муфельной печи с выдержкой образца при температуре 600 °С в течение 5 мин. Коэффициент вспучивания $K_{вс}$ определяют как отношение толщины интумесцентного слоя $h_{вс}$ к исходному слою покрытия h_0 :

$$K_{вс} = h_{вс} / h_0.$$

По совокупности огнезащитных и технологических характеристик из испытанных образцов нами был отобран интумесцентный состав, где в качестве связующего использовалась водная дисперсия сополимера винилацетата с винилверсататом.

Образец полученного герметика был подвергнут стандартизированным теплофизическим испытаниям на соответствие требованиям «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ №123 от 22.07.2008 г.) в составе гидротермоизолирующего узла для заделки деформационных швов между бетонными элементами, подверженных деформации до 10 % [5]. Конструкция образца испытываемого гидротермоизолирующего узла представляла собой систему, выполненную в бетонном фрагменте размером 400x100 мм и глубиной 180 мм. Пространство в проеме на глубину 15 мм было заполнено огнезащитным герметиком, затем плитой минераловатной на глубину 150 мм и вновь огнезащитным герметиком на глубину 15 мм (рис. 1).

Данная конструкция при испытаниях продемонстрировала удовлетворительную, но недостаточную огнезащитную эффективность – 164 минуты до наступления предельного состояния образца, кроме того, было рекомендовано уменьшить дымообразующую способность герметика.

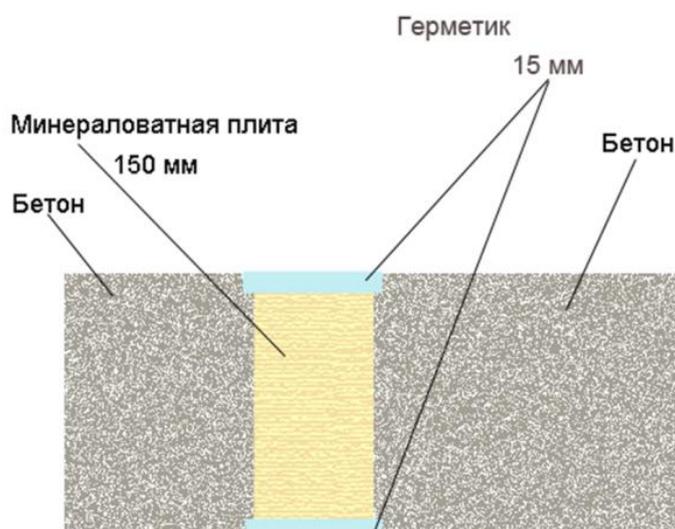


Рисунок 1. Конструкция испытываемого образца

Для улучшения огнезащитных показателей в состав композиции ввели 14 % (масс.) гидроксида алюминия.

Огнезащитная эффективность узла увеличилась до 174 минут, а дымообразующая способность герметика существенно снизилась. Для достижения требуемых 180 минут было решено ввести в состав огнезащитной композиции полые стеклянные микросферы (рис. 2) в количестве 1 % (масс.) (табл. 2). В результате последующих испытаний предельное состояние испытываемой конструкции было достигнуто через 182 минуты.

Таблица 2. Окончательная рецептура огнезащитного герметика

Компоненты	Содержание, % (масс.)
Пентаэритрит	8,0
Меламин	7,0
Микротальк	4,0
Вода	20,6
Полифосфат аммония	21,0
Гидроксид алюминия	14,0
Стеклянные микросферы	1,0
Связующее	20,6
Пластификатор	2,0
Фторированный углерод	0,8
Итого:	100

На разработанный огнезащитный герметик получен сертификат пожарной безопасности НСОПБ.RU.ПР.059.Н.00123. Подана заявка на получение патента. Разработанный материал также может быть использован:

- для герметизации закрытых и дренированных стыков наружных стен или противопожарных элементов, соединений между усиленными элементами из бетона и кирпича;
- локального уплотнения различного типа полостей, имеющих заданный предел огнестойкости;
- уплотнения швов при прокладке металлических труб;
- огне-, дымозащитных уплотнений кабелей в трубах небольшого диаметра и входов кабелей в распределительные коробки;
- уплотнения мест примыкания оконных и дверных блоков к элементам стен.

Налажен промышленный выпуск герметика в соответствии с ТУ 5772-004-52158071-2014.

Литература

1. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс] // Статистика пожаров за 2013 г. URL: http://www.mchs.gov.ru/stats/Pozhari/2013_god
2. Загоруйко Т.В., Перцев В.Т., Власов В.В. Разработка композиционных термостойких материалов для повышения огнестойкости железобетонных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. №2. С. 62.
3. Собрать С.В. Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: Справочник. 4-е изд., перераб. М.: ПожКнига, 2012. 160 с.
4. СНиП 21-21-97*. «Пожарная безопасность зданий и сооружений». СПб., 2007. 47 с.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон №123-ФЗ. М.: Проспект, 2009. 144 с.
6. Собрать С.В. Огнезащита материалов и конструкций: Справочник – 3-е изд., доп. (с изм.). М.: Пожнаука, 2004. С. 74.
7. Антонов А.В., Решетников И.С., Халтуринский Н.А. Горение коксообразующих полимерных систем // Успехи химии. 1999. Т. 68(7). С. 668.
8. Машляковский Л.Н., Лыков А.Д., Репкин В.Ю. Органические покрытия пониженной горючести. Л.: Химия, 1989. 182 с.

Осипов И.А., Зыбина О.А. Повышение предела огнестойкости деформационных швов строительных конструкций с помощью интумесцентной герметизирующей композиции

9. Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т.19. №8. С. 12.
10. Бабкин О.Э., Зыбина О.А., Танклевский Л.Т., Мнацаканов С.С. О механизме формирования пенококса при термоллизе огнезащитных интумесцентных покрытий // Промышленные пеногнезащитные покрытия. 2014. №5–6. С.70–72.
11. Зыбина О.А., Варламов А.В., Чернова Н.С., Мнацаканов С.С. О роли и превращениях компонентов огнезащитных вспучивающихся лакокрасочных композиций в процессе термоллиза // Журнал прикладной химии. 2009. Т.82. №4. С. 1445–1449.
12. Ненахов С.А., Пименова В.П. Экспериментальное изучение влияния толщины вспенивающихся покрытий на огнезащитную эффективность // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т.20. №5. С. 2–9.
13. Ненахов С.А., Пименова В.П. Динамика вспенивания огнезащитных покрытий на основе органо-неорганических составов // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т.20. №8. С. 17–24.
14. Халтуринский Н.А., Крупкин В.Г. О механизме образования огнезащитных вспучивающихся покрытий // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Вып. 20. №10. С. 33–36.
15. Zybina O.A., Varlamov A.V., Chernova N.S., Mnatsakanov S.S. On the role and transformations of components of intumescent fire-retardant paint-and-varnish formulations in the course of thermolysis // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. Vol. 82. №9. Pp. 1542–1546.
16. Zav'yalov D.E., Zybina O.A., Chernova N.S., Varlamov A.V., Mnatsakanov S.S. Fire Intumescent compositions Based on the In-tercalated Graphite // Russian Journal of Applied Chemistry. 2010. Vol. 83. No.9. Pp. 1679-1682.
17. Le Bras M., Camino G., Bourbigot S., Delobel R. Fire Retardancy of Polymers. The Use of Intumescence. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1998. 466 p.
18. Lyons J.W. The Chemistry and Uses of Fire Retardants. NewYork: J. Wiley Intersci., 1970. 462 p.
19. Proceedings of the 3rd Meeting on Fire Retardant Polymers. (Abstracts of Reports). Torino, 1989. 178 p.
20. Sellman R. Fire protection - The passive ingredient // Building Engineer. 2005. Vol. 80(6). Pp. 20–21.
21. Steffen S., Bauer M., Decker D., Richter F. Fire-retardant hybrid thermosetting resins from unsaturated polyesters and polysilazanes // Journal of Applied Polymer Science. 2014. Vol. 131(12). 40375.
22. Xiao Y., Zheng Y., Wang X., Chen Z., Xu Z. Preparation of a chitosan-based flame-retardant synergist and its application in flame-retardant polypropylene // Journal of Applied Polymer Science. 2014. Vol. 131(19). 40845.
23. Зыбина О.А., Варламов А.В., Мнацаканов С.С. Проблемы технологии коксообразующих огнезащитных покрытий: монография. Новосибирск: Издательство «СИБПРИНТ», 2010. 49 с.
24. Собоурь С.В. Огнезащита материалов и конструкций: Справочник – 3-е изд., доп. (с изм.). М.: Пожнаука, 2004. С. 74.
25. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1996.
26. ГОСТ 30247.1-94. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. М.: Изд-во стандартов, 1996.
27. ISO 834-75. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements.
28. ASTM E-119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
29. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физмалит, 2005. 410 с.
30. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: Строение, свойства, применения. М.: Бином, 2006. 293 с.
31. Meuyarpan M. Carbon nanotubes: science and application. CRC Press, 2005.
32. Gogotsi Y. Carbon nanomaterials. Taylor and Francis Group, 2006.
33. Jorio A., Dresselhaus G., Dresselhaus M.S. Carbon nanotubes. Advanced topics in the synthesis, structure, properties and applications. Springer, 2008.

*Илья Александрович Осипов, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +79112477069; эл. почта: osipov.mr@gmail.com*

*Ольга Александровна Зыбина, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +79052072479; эл. почта: ozakata@mail.ru*

© Осипов И.А., Зыбина О.А., 2014

doi: 10.5862/MCE.52.3

Increase in fire resistance of building expansion joints via intumescent sealant composition

I.A. Osipov*St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia
+79112477069; e-mail: osipov.mr@gmail.com***O.A. Zybina***St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia
+79052072479; e-mail: ozakata@mail.ru*

Key words

intumescent materials; fireproof sealant; fire protection of building structures

Abstract

In this paper, we consider the possibility of increasing the fireproof efficiency of the intumescent sealant composition for the heat-insulating unit when sealing expansion joints between concrete elements.

Fire protection of building structures is a part of the general system of measures to ensure fire safety and fire resistance of buildings and structures. It aims to reduce the structures' fire hazard and provide them with the required fire resistance. The main objectives of fire protection are: fire prevention, initial flame breakdown, reduction of fire hazards and fire localization.

The material we developed may be used to seal closed and drained exterior wall joints or fire control elements; connections between reinforced concrete and bricks; local sealing of various types of cavities with prescribed fire resistance and so on.

References

1. *Ministerstvo Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyami likvidatsii posledstviy stikhiyных bedstviy [Elektronnyy resurs]//Statistika pozharov za 2013 g.* [Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies Disaster]. [Online resource]. URL: http://www.mchs.gov.ru/stats/Pozhari/2013_god (accessed: November 10, 2014). (rus)
2. Zagoruyko T.V., Pertsev V.T., Vlasov V.V. Razrabotka kompozitsionnykh termostoykikh materialov dlya povysheniya ognestoykosti zhelezobetonnykh konstruksiy [Development of composite heat-resistant materials to improve the fire resistance of reinforced concrete structures]. *Scientific Herald of VSUACE. Construction and Architecture*. 2012. No. 2. P. 62 (rus)
3. Sobur S.V. *Pozharnaya bezopasnost obshchestvennykh i zhilykh zdaniy* [Fire safety of public and residential buildings]. Reference book. Moscow: PozhKniga, 2012. 160 p. (rus)
4. *SNiP 21-21-97*. «Pozharnaya bezopasnost zdaniy i sooruzheniy* [Building code 21-21-97*. Fire safety of buildings and structures]. Saint-Petersburg, 2007. 47 p. (rus)
5. *Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharной bezopasnosti* [Technical regulations on fire safety requirements]: federalnyy zakon №123-FZ. Moscow: Prospekt, 2009. 144 p. (rus)
6. Sobur S.V. *Ognezashchita materialov i konstruksiy* [Fire protection materials and structures]. Reference book. Moscow: Pozhkniga, 2004. P. 74. (rus)
7. Antonov A.V., Reshetnikov I.S., Khalturinskiy N.A. Goreniye koksoobrazuyushchikh polimernykh sistem [Burning coke-forming polymer systems]. *Uspekhi khimii*. 1999. Vol. 68(7). P. 668. (rus)
8. Mashlyakovskiy L.N., Lykov A.D., Repkin V.Yu. *Organicheskiye pokrytiya ponizhennoy goryuchesti* [Organic coatings low flammability]. Leningrad: Khimiya, 1989. 182 p. (rus)
9. Nenakhov S.A., Pimenova V.P. Fiziko-khimiya vspenivayushchikhsya ognezashchitnykh pokrytiy na osnove polifosfata ammoniya [Physical chemistry expandable flame retardants based on ammonium polyphosphate]. *Fire and Explosion Safety*. 2010. Vol. 19. No.8. P. 12. (rus)
10. Babkin O.E., Zybina O.A., Tanklevskiy L.T., Mnatsakanov S.S. O mekhanizme formirovaniya penokoksa pri termolize ognezashchitnykh intumestsentnykh pokrytiy [About the mechanism of formation of penokoksa thermolysis flame retardant intumescent coatings]. *Promyshlennyye ognezashchitnyye pokrytiya*. 2014. No. 5-6. Pp. 70–72. (rus)

11. Zybina O.A., Varlamov A.V., Chernova N.S., Mnatsakanov S.S. O roli i prevrashcheniyakh komponentov ognezashchitnykh vspuchivayushchikhsya lakokrasochnykh kompozitsiy v protsesse termoliza [About the role and transformation components flame retardant intumescent paint composition during thermolysis]. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2009. Vol. 82. No. 4. Pp. 1445–1449. (rus)
12. Nenakhov S.A., Pimenova V.P. Eksperimentalnoye izucheniye vliyaniya tolshchiny vspenivayushchikhsyapokrytiy na ognezashchitnyuyu effektivnost [Experimental study of the effect of thickness on the fire-resistance rating vspenivayushchikhsyapokryty]. *Fire and Explosion Safety*. 2011. Vol. 20. No 5. Pp. 2–9. (rus)
13. Nenakhov S.A., Pimenova V.P. Dinamika vspenivaniya ognezashchitnykh pokrytiy na osnove organo-neorganicheskikh sostavov [Dynamics of foaming flame retardants based on organic-inorganic compounds]. *Fire and Explosion Safety*. 2011. Vol. 20. No. 8. Pp. 17–24. (rus)
14. Khalturinskiy N.A., Krupkin V.G. O mekhanizme obrazovaniya ognezashchitnykh vspuchivayushchikhsya pokrytiy [About the mechanism of formation of the flame retardant intumescent coatings]. *Fire and Explosion Safety*. 2011. Vol. 20. No 10. Pp. 33–36 (rus)
15. Zybina O.A., Varlamov A.V., Chernova N.S., Mnatsakanov S.S. On the role and transformations of components of intumescent fire-retardant paint-and-varnish formulations in the course of thermolysis. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2009. Vol. 82. No. 9. Pp. 1542–1546.
16. Zavyalov D.E., Zybina O.A., Chernova N.S., Varlamov A.V., Mnatsakanov S.S. Fire Intumescent compositions Based on the In-tercalated Graphite. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2010. Vol. 83. No. 9. Pp. 1679–1682.
17. Le Bras M., Camino G., Bourbigot S., Delobel R. Fire Retardancy of Polymers. The Use of Intumescence. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1998. P. 35.
18. Lyons J.W. The Chemistry and Uses of Fire Retardants. New York: J. Wiley Intersci., 1970. 462 p.
19. Proceedings of the 3rd Meeting on Fire Retardant Polymers. (Abstracts of Reports). Torino, 1989. P. 178.
20. Sellman R. Fire protection - The passive ingredient. *Building Engineer*. 2005. Vol. 80(6). Pp. 20–21.
21. Steffen S., Bauer M., Decker D., Richter F. Fire-retardant hybrid thermosetting resins from unsaturated polyesters and polysilazanes. *Journal of Applied Polymer Science*. 2014. Vol. 131(12). 40375.
22. Xiao Y., Zheng Y., Wang X., Chen Z., Xu Z. Preparation of a chitosan-based flame-retardant synergist and its application in flame-retardant polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*. 2014. Vol. 131(19). 40845.
23. Zybina O.A., Varlamov A.V., Mnatsakanov S.S. *Problemy tekhnologii koksoobrazuyushchikh ognezashchitnykh pokrytiy: monografiya* [Technology challenges coke-forming flame retardants: a monograph]. Novosibirsk: Izdatelstvo «SIBPRINT», 2010. 49 p. (rus)
24. Sobur S.V. *Ognezashchita materialov i konstruksiy* [Fire protection materials and structures]. Reference book. Moscow: Pozhnauka, 2004. P. 74.
25. GOST 30247.0-94 *Konstruksii stroitelnyye. Metody ispytaniy na ognestoykost. Obshchiye trebovaniya* [Construction units. Methods of test for fire resistance. General requirements]. Moscow: Izd-vo standartov, 1996.
26. GOST 30247.1-94. *Metody ispytaniy na ognestoykost. Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruksii* [Methods of test for fire resistance. Bearing and walling]. Moscow: Izd-vo standartov, 1996.
27. ISO 834-75. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements.
28. ASTM Ye-119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
29. Gusev A.I. *Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii* [Nanomaterials, nanostructures, nanotechnology]. Moscow: Fizmalit, 2005. 410 p. (rus)
30. Dyachkov P.N. *Uglerodnyye nanotrubki: Stroyeniye, svoystva, primeneniya* [Carbon nanotubes: structure, properties, and applications]. Moscow: Binom, 2006. 293 p. (rus)
31. Meyyappan M. *Carbon nanotubes: science and application*. CRC Press, 2005.
32. Gogotsi Y. *Carbon nanomaterials*. Taylor and Francis Group, 2006
33. Jorio A., Dresselhaus G., Dresselhaus M.S. *Carbon nanotubes. Advanced topics in the synthesis, structure, properties and applications*. Springer, 2008.

Full text of this article in English: pp. 20–24