

УДК 677.027.62

ПРИДАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМ ТЕКСТИЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ- ТЕХНОЛОГИИ

© *Б.Р. Таусарова**, *А.Ю. Стасенко*

*Алматинский технологический университет, ул. Толе би, 100, Алматы,
050012 (Казахстан), e-mail: birtausarova@mail.ru*

В статье изложены исследования по применению нового состава на основе силиката натрия, мочевины и гидрофосфата натрия для придания огнезащитных свойств целлюлозным текстильным материалам. Исследовано влияние концентрации исходных компонентов, температуры и времени термообработки на огнезащитные свойства. Изменение огнезащитных свойств хлопчатобумажной ткани приведено для трех режимов термообработки: при 80, 90 и 100 °С. Обработанные огнезащитным составом образцы по сравнению с исходной тканью обладают показателями огнезащитных свойств. Необработанная ткань размером 220×170 мм при испытании на воспламеняемость при времени зажигания 15 с полностью сгорает за 60 с. У образцов, обработанных огнезащитным составом, при времени зажигания 15 с время тления практически сводится к нулю. С увеличением концентрации огнезащитного состава и температуры термообработки потеря прочности материала, разрывная нагрузка, внешний вид ткани меняются незначительно. Методом электронно-сканирующей микроскопии и энергодисперсионного микроанализа показано, что чистая хлопковая ткань содержит 68.77% углерода и 31.22% кислорода, после модификации на поверхности обработанной ткани образуются частицы натрия – 0.02%, фосфора – 0.04% и калия – 0.05%, которые распределены достаточно неравномерно. Показано, что у целлюлозных материалов, модифицированных композициями на основе силиката натрия и мочевины, гидрофосфата натрия, повышаются огнезащитные свойства. Предлагаемые композиции обеспечивают достижение более высоких показателей огнестойкости. Обработка может быть осуществлена на стандартном оборудовании отделочных предприятий без стадии высокотемпературной фиксации препарата.

Ключевые слова: целлюлозные материалы, огнезащитные свойства, гидрофосфат натрия, силикат натрия, мочевина, золь-гель-технология.

Введение

Текстильные материалы имеют широкую область применения: в быту, технике, общественных зданиях, на транспорте и как специальные защитные средства, используются в качестве штор, драпировок, занавесей, материалов при изготовлении мягкой мебели, спальных принадлежностей, специальной защитной одежды и изделий, декоративной отделки различных по функциональному назначению помещений. Однако они являются серьезным источником опасности во время пожаров, легко воспламеняется, способствуют распространению пламени, при горении выделяют большое количество дыма и газов и представляют большую угрозу для жизни человека. Проблема придания огнезащитных свойств текстильным материалам различной природы и назначения в последние годы приобретает все большую актуальность. Для улучшения огнестойкости целлюлозных материалов проводят обработку азот-фосфорсодержащими соединениями. Использование традиционных антипиренов, содержащих галогены, особенно хлор и бром, постепенно сокращаются из-за их образования токсичных и агрессивных газов во время термической деградации. В области текстильных материалов с огнезащитными свойствами достигнуты определенные успехи. В различных странах широко проводятся исследования, направленные на повышение огнезащитных свойств как природных, так и синтетических волокон [1–5].

Таусарова Бижамал Раимовна – доктор химических наук, профессор кафедры химии, химической технологии и экологии, e-mail: birtausarova@gmail.com

Стасенко Анастасия Юрьевна – магистрант, e-mail: anastassiya_st@mail.ru

Для получения прочных огнезащитных покрытий используют фитиновую кислоту и мочевину [6], калия гидрофосфат, мочевину, полиэтиленполиамин [7, 8], фенилбороновую

* Автор, с которым следует вести переписку.

кислоту и полиэтиленимин [9], трихлорид фосфора и гуанидин [10], фосфорную кислоту, пентаэритрит, мочевины [11], винилфосфоновую кислоту, метакриламид [12–13], дигидрофосфат аммония [14], 1-гидроксиэтилиден-1.1-дифосфоновую кислоту и мочевины [15].

В настоящее время для инновационной отделки текстильных материалов широко используется золь-гель-технология [16–17]. Покрытия, получаемые золь-гель-методом, – подходящий инструмент для модификации большого количества материалов, таких как стекло, бумага, синтетические полимеры, дерево, металл и текстиль. Основное преимущество золь-гель-метода перед другими состоит в том, что он позволяет контролировать структуру получаемых материалов, размер частиц, величину и объем пор, площадь поверхности пленок, чтобы получить материал с заданными свойствами. Этот метод не требует уникального оборудования и дорогих исходных реагентов и поэтому является сравнительно дешевым методом синтеза. Золь-гель-процесс приводит к образованию самоорганизованных (нано) слоев на поверхности волокна, новых покрытий с высокой степенью гомогенности на молекулярном уровне и улучшенные физико-химические свойства. Эти покрытия способны защищать поверхность, тем самым улучшая обычные характеристики обработанных материалов, таких как огнестойкость [18–20], супергидрофобность [21–26], защита от противомикробного воздействия [27, 28], ультрафиолетового излучения [29]. Для повышения огнезащитных свойств обработку текстильных материалов проводили с применением 1,2,3,4-бутантетракарбоновой кислоты, гипофосфита натрия, гидрат N-(фосфонометил)иминодиуксусной кислоты, моноэтаноламина, в качестве золь-гель-предшественника использовали: тетраэтоксисилан, 3-аминопропилтриэтоксисилан, 3-глицидоксипропилтриэтоксисилан [30–33]. Гибридные покрытия, содержащие фосфор, кремний и азот нанесены на хлопчатобумажную ткань посредством золь-гель-процесса для улучшения огнезащитных свойств [34]. Поэтому исследования, посвященные получению текстильных материалов с огнезащитными свойствами с применением золь-гель-технологии, а также изучению их свойств, имеют большое научное и практическое значение.

Цель настоящего исследования – получение целлюлозных материалов с огнезащитными свойствами с применением золь-гель-технологии.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовалась отбеленная, не аппретированная, хлопчатобумажная ткань арт.–1030. Структурная характеристика хлопчатобумажной ткани: ширина ткани – 220 см, поверхностная плотность – 125 г/м², переплетение – полотняное, состав – 100% хлопок и химические вещества, способные снизить горючесть текстильных материалов и дымообразования токсичных продуктов горения.

Жидкое стекло – водный щелочной раствор силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ и (или) калия $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$.

Натрия гидрофосфат – неорганическое соединение, Na_2HPO_4 безводный, не имеющий запаха, порошок белого цвета с плотностью 2.44, хорошо растворяется в воде.

Мочевина – карбамид, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, молекулярная масса 60.06, бесцветные кристаллы без запаха. Мочевина хорошо растворима в полярных растворителях (воде, жидком аммиаке и сернистом ангидриде), при снижении полярности растворителя растворимость падает. Мочевина нерастворима в неполярных растворителях (алканах, хлороформе), плотность – 1.32 г/см³, температура плавления – 132.7 °С.

Образцы хлопчатобумажной ткани размером 200×170 мм после определения точной массы на аналитических весах пропитывали в ванне с силикатом натрия в течение 1 мин, отжим составил 90%, далее следовала подсушка 75–85 °С в течение 8–10 мин, затем обработанная ткань подвергалась термообработке при 80, 90, 100 °С в течение 1 мин с последующей промывкой в большом количестве дистиллированной воды и затем сушка [35]. На второй стадии после обработки силикатом натрия образцы пропитывали водным раствором гидрофосфата натрия и мочевины в течение 1 мин, после отжима 90% высушивание осуществляли при 75 °С в течение 3 мин в термошкафу с последующей промывкой в дистиллированной воде и высушивали при комнатной температуре.

Испытания огнезащитной эффективности разработанных составов проводились в соответствии с ГОСТ Р 50810-95, который устанавливает метод определения способности текстильных материалов (тканей, нетканых полотен) сопротивляться воспламенению, устойчивому горению, а также оценки их огнезащитных свойств. Стандарт применяется для всех горючих декоративных текстильных материалов, поставляемых потребителю.

Воздухопроницаемость материалов определяли на приборе МТ-160, ГОСТ 12088–77, разрывные характеристики на разрывной машине МТ-150, ГОСТ 3813–72.

Электронно-микроскопическое изучение образцов проводилось с помощью низковакуумного растрового электронного микроскопа JSM-6510LA.

Обсуждение результатов

Изменение огнезащитных свойств хлопчатобумажной ткани приведено для трех режимов термообработки: при 80, 90 и 100 °С, время обработки – 1 мин, результаты исследования представлены в таблице 1. Как следует из таблицы 1, повышение концентрации дигидроортофосфата калия приводит к изменению свойств ткани. Полученные данные показывают, что с повышением концентрации составов время самостоятельного горения целлюлозных материалов, обработанных композициями уменьшилось от 60 до 7 с.

Как следует из таблицы 1, обработанные огнезащитным составом образцы по сравнению с исходной тканью обладают показателями огнезащитных свойств. Необработанная ткань размером 220×170 мм при испытании на воспламеняемость при времени зажигания 15 с полностью сгорает за 60 с. У образцов, обработанных огнезащитным составом, при времени зажигания 15 с время тления практически сводится к нулю. Исследования показали, что с повышением концентрации гидрофосфата натрия длина обугленного участка уменьшилась от 220 до 95 мм (рис. 1).

С увеличением концентрации огнезащитного состава и температуры термообработки потеря прочности материала уменьшается незначительно, разрывная нагрузка контрольного образца составляет 345 Н, после обработки при температуре 100 °С колеблется в небольших пределах – от 345 до 302 Н (рис. 2), внешний вид ткани меняется незначительно.

Таблица 1. Результаты исследования образцов, пропитанных огнезащитным составом

№	Концентрация веществ, г/л			Время самостоятельного горения, с			Длина обугленного участка, мм			Разрывная нагрузка, Н		
	Na ₂ O*SiO ₂	CO(NH ₂) ₂	NaH ₂ PO ₄	Температура термообработки, °С								
				80	90	100	80	90	100	80	90	100
1	Исходный образец			60	60	60	220	220	220	345	345	345
2	25	41	36	15	15	15	140	140	138	330	330	329
3	20	41	46	12	11	11	135	134	134	328	328	328
4	20	41	51	8	7	7	120	120	119	315	315	314
5	25	41	110	9	7	7	110	110	109	301	302	303
6	10	41	130	9	7	7	95	96	95	311	311	311

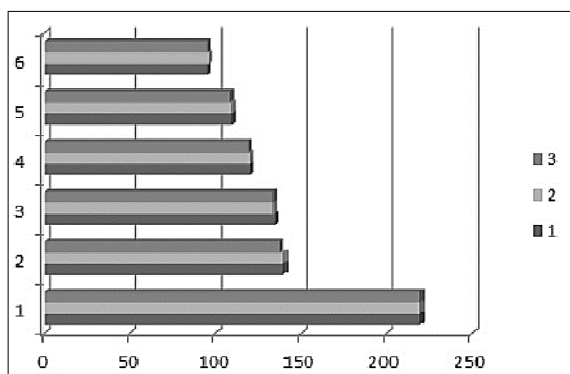


Рис. 1. Зависимость длины обугленного участка (мм) при испытании с поверхности от концентрации веществ в огнезащитном составе: 1 – 80 °С; 2 – 90 °С; 3 – 100 °С; (нумерация образцов согласно табл. 1)

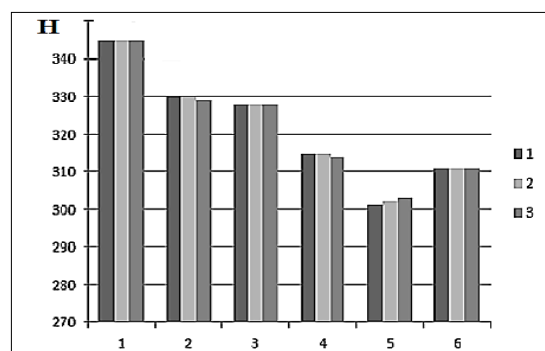
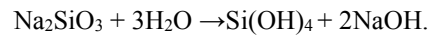


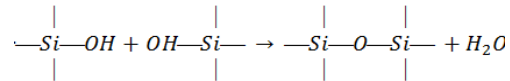
Рис. 2. Зависимость разрывной нагрузки (Н) от температуры обработки: 1 – 80 °С; 2 – 90 °С; 3 – 100 °С; (нумерация образцов согласно табл. 1)

Применение золь-гель-процесса в химической отделке тканей и текстильных изделий состоит из пропитки текстильных волокон золь-гель-раствором, сушки и термообработки при соответствующих условиях.

Вовремя золь-гель-процесса сначала происходит гидролиз, затем реакция конденсации, которая приводит к образованию $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ связей [36]. Реакция гидролиза силиката натрия в водном растворе протекает по схеме:



Выделяющаяся в результате гидролиза кремниевая кислота содержит в своем составе силанольные группы, способные к реакции поликонденсации с образованием полимерных кислот.



На второй стадии на поверхности целлюлозного волокна между гидроксильными группами и золь-гель-композицией формируется трехмерная сетка за счет образования водородных, ионных и координационных связей.

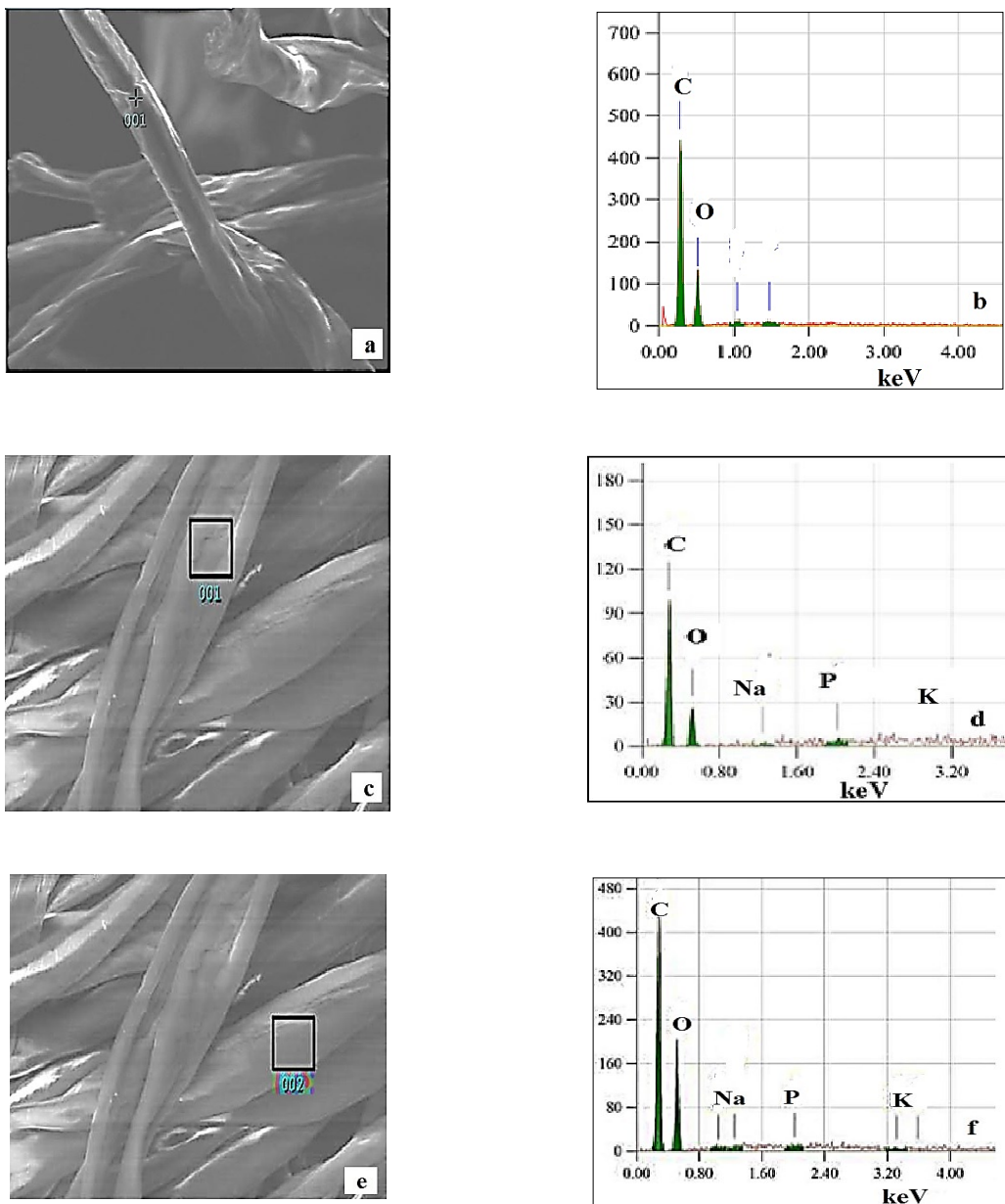


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки контрольного образца ткани (а), модифицированной огнезащитной композицией (с, е), энергодисперсионный микроанализ (b, d, f)

Результаты электронно-сканирующей микроскопии показывают изменение морфологической поверхности обработанных образцов по сравнению с необработанными образцами и подтверждают образование тонкой полимерной пленки на поверхности волокна (рис. 3). Согласно данным электронно-сканирующей микроскопии (рис. 3, а) и энергодисперсионного микроанализа (рис. 3, б) чистая хлопковая ткань содержит 68.77% углерода и 31.22% кислорода. После модификации на поверхности обработанной ткани (рис. 3, с и d) образуются частицы натрия – 0.02%, фосфора – 0.04% и калия – 0.05% (табл. 2), которые распределены достаточно неравномерно.

Таблица 2. Средний элементный состав необработанных и модифицированных хлопчатобумажных тканей, полученный на основе результатов энергодисперсионного микроанализа

№	КН ₂ РО ₄ г/л	Массовая доля, %					Атомная доля, %				
		С	О	Na	Р	К	С	О	Na	Р	К
	Контроль	68.77	31.22				74.62	25.62			
1	46	57.93	41.88	0.02	0.04	0.05	64.76	35.15	0.01	0.02	0.02
2	110	63.59	35.89	0.12	0.24	0.16	70.06	29.68	0.06	0.10	0.09

С повышением концентрации КН₂РО₄ и силиката натрия в модифицирующем составе (табл. 2) в обработанных образцах содержание натрия, фосфора и калия возрастает до 0.12, 0.24, и 0.16% соответственно.

Заключение

Разработан состав на основе силиката натрия, мочевины и гидрофосфата натрия для придания целлюлозным материалам огнезащитных свойств.

Определены оптимальные условия обработки тканей, исследовано влияние концентрации рабочего раствора, температуры пропитки и термофиксации на огнезащитные свойства ткани. Показано улучшение огнезащитных свойств у целлюлозных материалов, модифицированных предлагаемой композицией.

Методом электронно-сканирующей микроскопии установлено, что обработка тканей огнезащитными композициями приводит к изменению морфологии поверхности волокон.

Показано, что у целлюлозных материалов, модифицированных композициями на основе силиката натрия и мочевины, гидрофосфата натрия, повышаются огнезащитные свойства. Предлагаемые композиции обеспечивают достижение более высоких показателей огнестойкости. Обработка может быть осуществлена на стандартном оборудовании отделочных предприятий без стадии высокотемпературной фиксации препарата.

Список литературы

1. Alongi J., Carosio F., Kiekens P. Recent Advances in the Design of Water Based-Flame Retardant Coatings for Polyester and Polyester-Cotton Blends // *Polymers*. 2016. Vol. 8(10). Pp. 357–380. DOI: 10.3390/polym8100357.
2. Alongi J., Carosio F., Malucelli G. Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: An overview // *Polymer Degradation and Stability*. 2014. Vol. 106. Pp. 138–149. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.012.
3. Carosio F., Alongi J. Flame Retardant Multilayered Coatings on Acrylic fabrics Prepared by One-Step Deposition of Chitosan/Montmorillonite Complexes // *Fibers*. 2018. Vol. 6. P. 36. DOI: 10.3390/fib6020036.
4. Shah A.U.R., Prabhakar M.N., Song J. Current Advances in the Fire Retardancy of Natural Fiber and Bio-Based Composites – A Review // *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*. 2017. Pp. 242–262. DOI: 10.1007/s40684-017-0030-1.
5. Salmeia K.A., Gaan S., Malucelli G. Recent Advances for Flame Retardancy of Textiles Based on Phosphorus Chemistry // *Polymers*. 2016. Vol. 8. P. 319. DOI: 10.3390/polym8090319.
6. Liu X., Zhang Q., Cheng B., Ren Y., Zhang Y., Ding C. Durable flame retardant cellulosic fibers modified with novel, facile and efficient phytic acid-based finishing agent // *Cellulose*. 2018. Vol. 25. Pp. 799–811. DOI: 10.1007/s10570-017-1550-0.
7. Taussarova B.R., Abilkasova S.O. Flame-retardant modification of cellulose materials by n- and p-containing composites // *Fibre Chemistry*. 2017. Vol. 49. N4. Pp. 242–245. DOI: 10.1007/s10692-018-9876-4.
8. Таусарова Б.Р., Абдрахманова Г.С., Биримжанова З.С. Применение полиэтиленполиамин и гидрофосфата калия для придания огнезащитных свойств целлюлозным материалам // *Химический журнал Казахстана*. 2016. №2. С. 201–207.

9. Chan S.Y., Si L., Lee K.I., Ng P.F., Chen L., Yu B., Hu Y., Yuen R.K.K., Xin J.H., Fei B. A novel boron–nitrogen intumescent flame retardant coating on cotton with improved washing durability // *Cellulose*. 2018. Vol. 25. Pp. 843–857. DOI: 10.1007/s10570-017-1577-2.
10. Dong C., He.P., Lu Z., Wang S., Sui S., Liu J., Zhang L., Zhu P. Preparation and properties of cotton fabrics treated with a novel antimicrobial and flame retardant containing triazine and phosphorus components // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018. Vol. 131. Pp. 1079–1087. DOI: 10.1007/s10973-017-6604-x.
11. Jia Y., Hu Y., Zheng D., Zhang G., Zhang F., Liang Y. Synthesis and evaluation of an efficient, durable, and environmentally friendly flame retardant for cotton // *Cellulose*. 2017. Vol. 24. Pp. 1159–1170. DOI: 10.1007/s10570-016-1163-z.
12. Rosace G., Colleoni C., Trovato V., Iacono G., Malucelli G. Vinylphosphonic acid/methacrylamide system as a durable intumescent flame retardant for cotton fabric // *Cellulose*. 2017. Vol. 24. Pp. 3095–3108. DOI: 10.1007/s10570-017-1294-x.
13. Kim S.J., Jang J. Synergistic UV-Curable Flame-retardant Finish of Cotton Using Comonomers of Vinylphosphonic Acid and Acrylamide // *Fibers and Polymers*. 2017. Vol. 18. Pp. 2328–2333. DOI: 10.1007/s12221-017-7628-3.
14. Grancaric A.M., Botteri L., Alongi J., Malucelli G. Synergistic effects occurring between water glasses and urea/ammonium dihydrogen phosphate pair for enhancing the flame retardancy of cotton // *Cellulose*. 2015. Vol. 22. Pp. 2825–2835. DOI: 10.1007/s10570-015-0671-6.
15. Lu Y., Jia Y., Zhou Y., Zou J., Zhang G., Zhang F. Straightforward one-step solvent-free synthesis of the flame retardant for cotton with excellent efficiency and durability // *Carbohydrate Polymers*. 2018. Vol. 201. Pp. 438–445. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.08.078.
16. Ismail W.N.W. Sol-gel technology for innovative fabric finishing – A Review // *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 2016. Vol. 78. Pp. 698–707. DOI: 10.1007/s10971-016-4027-y.
17. Malucelli G. Surface-Engineered Fire Protective Coatings for Fabrics through Sol-Gel and Layer-by-Layer Methods: An Overview // *Coating*. 2016. Vol. 6. P. 33. DOI: 10.3390/coatings6030033.
18. Alongi J., Colleoni C., Rosace G., Malucelli G. Sol-gel derived architectures for enhancing cotton flame retardancy: Effect of pure and phosphorus-doped silica phases // *Polymer Degradation and Stability*. 2014. Vol. 99. Pp. 92–98. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.11.020.
19. Ren Y., Zhang Y., Gu Y., Zeng Q. Flame retardant polyacrylonitrile fabrics prepared by organic-inorganic hybrid silica coating via sol-gel technique // *Progress in Organic Coatings*. 2017. Vol. 112. Pp. 225–233. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.07.022.
20. Colleoni C., Donelli I., Freddi G., Guido E., Migani V., Rosace G. A novel sol-gel multi-layer approach for cotton fabric finishing by tetraethoxysilane precursor // *Surface & Coatings Technology*. 2013. Vol. 235. Pp. 192–203. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.07.033.
21. Zhang D., Williams B.L., Shrestha S.B., Nasir Z., Becher E.M., Lofink B.J., Santos V.H., Patel H., Peng X., Sun L. Flame retardant and hydrophobic coatings on cotton fabrics via sol-gel and self-assembly techniques // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2017. Vol. 505. Pp. 892–899. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.06.087.
22. Vasiljevic J., Toms B., Jerman I. Multifunctional superhydrophobic/oleophobic and flameretardant cellulose fibres with improved ice-releasing properties and passive antibacterial activity prepared via the sol-gel method // *J Sol-Gel Sci Technol*. 2014. Vol. 70. Pp. 385–399. DOI: 10.1007/s10971-014-3294-8.
23. Pan C., Shen L., Shang S., Xing Y. Preparation of superhydrophobic and UV blocking cotton fabric via sol-gel method and self-assembly // *Applied Surface Science*. 2012. Vol. 259. Pp. 110–117. DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.07.001.
24. Lin D., Zeng X., Li H., Lai X. Facile fabrication of superhydrophobic and flame-retardant coatings on cotton fabrics via layer-by-layer assembly // *Cellulose*. 2018. Vol. 25. Pp. 3135–3149. DOI: 10.1007/s10570-018-1748-9.
25. Lin D., Zeng X., Li H., Lai X., Wu T. One-pot fabrication of superhydrophobic and flame-retardant coatings on cotton fabrics via sol-gel reaction // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2019. Vol. 533. Pp. 198–206. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.08.06.
26. Zhang D., Williams B.L. Shrestha S.B. Flame retardant and hydrophobic coatings on cotton fabrics via sol-gel and self-assembly techniques // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2017. Vol. 505. Pp. 892–899. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.06.087.
27. Foksowicz-Flaczyk J., Walentowska J., Przybylak M., Maciejewski H. Multifunctional durable properties of textile materials modified by biocidal agents in the sol-gel process // *Surface & Coatings Technology*. 2016. Vol. 304. Pp. 160–166. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.06.062.
28. Li Y., Wang B., Sui X., Xie R., Xu H., Zhang L., Zhong Y., Mao Z. Durable flame retardant and antibacterial finishing on cotton fabrics with cyclotriphosphazene/polydopamine/silver nanoparticles hybrid coatings // *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 435. Pp. 1337–1343.
29. Irfan M., Perero S., Miola M., Maina G., Ferri A., Ferraris M., Balagna C. Antimicrobial functionalization of cotton fabric with silver nanoclusters/silica composite coating via RF co-sputtering technique // *Cellulose*. 2017. Vol. 24. Pp. 2331–2345. DOI: 10.1007/s10570-017-1232-y.
30. Rosace G., Castellano A., Trovato V., Iacono G., Malucelli G. Thermal and flame retardant behaviour of cotton fabrics treated with a novel nitrogen-containing carboxyl-functionalized organophosphorus system // *Carbohydrate Polymers*. 2018. Vol. 196. Pp. 348–358. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.05.012.
31. Таусарова Б.П., Такей Е. Золь-гель технология придания огнезащитных свойств целлюлозным текстильным материалам // *Нано индустрия*. 2018. Т. 80. №1. С. 68–73.

32. Такей Е., Таусарова Б.Р. Применение тетроэтоксисилана и тиомочевины для придания огнезащитных свойств целлюлозным текстильным материалам // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. Т. 371. №5. С. 35–39.
33. Grancaric A.M., Colleoni G., Guido E., Botteri L., Rosace G. Thermal behaviour and flame retardancy of monoethanolamine-doped sol-gel coatings of cotton fabric // *Progress in Organic Coatings*. 2016. Pp. 174–181. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.10.035.
34. Liu Y., Pan Y.T., Wang X., Acuña P., Zhu P., Wagenknecht U., Heinrich G., Zhang X.Q., Wang R., Wang D.Y. Effect of phosphorus-containing inorganic–organic hybrid coating on the flammability of cotton fabrics: Synthesis, characterization and flammability // *Chemical Engineering Journal*. 2016. Vol. 294. Pp. 167–175. DOI: 10.1016/j.cej.2016.02.080.
35. Патент №33177 (Казахстан). Способ получения целлюлозных материалов с огнезащитными свойствами золь-гель методом / Б.Р. Таусарова, А.Ю. Стасенко, Б.К. Стырон / 2018.
36. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. М., 2006. 309 с.

Поступила в редакцию 28 июля 2018 г.

После переработки 6 июля 2019 г.

Принята к публикации 13 сентября 2019 г.

Для цитирования: Таусарова Б.Р., Стасенко А.Ю. Придание огнезащитных свойств целлюлозным текстильным материалам с применением золь-гель технологии // *Химия растительного сырья*. 2019. №4. С. 365–372. DOI: 10.14258/jcrpm.2019044286.

*Tausarova B.R.**, *Stasenko A.Yu.* GIVING FLAME RETARDANT PROPERTIES TO CELLULOSIC TEXTILE MATERIALS USING SOL-GEL TECHNOLOGY

Almaty Technological University, ul. Tole bi, 100, Almaty, 050012 (Kazakhstan), e-mail: birtausarova@mail.ru

The article presents studies on the use of a new composition based on sodium silicate, urea and sodium hydrogen phosphate to impart fire-retardant properties to cellulosic textile materials. The influence of the concentration of the starting components, temperature, and heat treatment time on the flame retardant properties was studied. The change in the fire retardant properties of cotton fabric is given for three heat treatment modes: at 80, 90 and 100 °C. Compared to the initial fabric, the samples treated with a flame retardant have indicators of flame retardant properties. Untreated fabric with a size of 220×170 mm when tested for flammability at an ignition time of 15 s completely burns out in 60 s. In samples treated with a flame retardant, at an ignition time of 15 s, the smoldering time is practically reduced to zero. With an increase in the concentration of the flame retardant, and the temperature of the heat treatment, the loss of material strength, breaking load, and the appearance of the fabric change slightly. Using electron scanning microscopy and energy dispersive microanalysis, it was shown that pure cotton fabric contains 68.77% carbon and 31.22% oxygen; after modification, particles of sodium – 0.02%, phosphorus – 0.04% and potassium – 0.05% are formed on the surface of the treated fabric. distributed fairly unevenly. It has been shown that in cellulosic materials modified with compositions based on sodium silicate and urea, sodium hydrogen phosphate, flame retardant properties increase. The proposed composition provides the achievement of higher fire resistance. Processing can be carried out on standard equipment of finishing enterprises without the stage of high-temperature fixation of the drug.

Keywords: cellulosic materials, fire retardant properties, sodium hydrogen phosphate, sodium silicate, urea, sol-gel-technology.

References

1. Alongi J., Carosio F., Kiekens P. *Polymers*, 2016, vol. 8(10), pp. 357–380. DOI: 10.3390/polym8100357.
2. Alongi J., Carosio F., Malucelli G. *Polymer Degradation and Stability*, 2014, vol. 106, pp. 138–149. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.012.
3. Carosio F., Alongi J. *Fibers*, 2018, vol. 6, p. 36. DOI: 10.3390/fib6020036.
4. Shah A.U.R., Prabhakar M.N., Song J. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 2017, pp. 242–262. DOI: 10.1007/s40684-017-0030-1.
5. Salmeia K.A. Gaan S., Malucelli G. *Polymers*, 2016, vol. 8, p. 319. DOI: 10.3390/polym8090319.

* Corresponding author.

6. Liu X., Zhang Q., Cheng B., Ren Y., Zhang Y., Ding C. *Cellulose*, 2018, vol. 25, pp. 799–811. DOI: 10.1007/s10570-017-1550-0.
7. Tausarova B.R., Abilkasova S.O. *Fibre Chemistry*, 2017, vol. 49, no. 4, pp. 242–245. DOI: 10.1007/s10692-018-9876-4.
8. Tausarova B.R., Abdrakhmanova G.S., Birimzhanova Z.S. *Khimicheskiy zhurnal Kazakhstana*, 2016, no. 2, pp. 201–207. (in Russ.).
9. Chan S.Y., Si L., Lee K.I., Ng P.F., Chen L., Yu B., Hu Y., Yuen R.K.K., Xin J.H., Fei B. *Cellulose*, 2018, vol. 25, pp. 843–857. DOI: 10.1007/s10570-017-1577-2.
10. Dong C., He P., Lu Z., Wang S., Sui S., Liu J., Zhang L., Zhu P. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2018, vol. 131, pp. 1079–1087. DOI: 10.1007/s10973-017-6604-x.
11. Jia Y., Hu Y., Zheng D., Zhang G., Zhang F., Liang Y. *Cellulose*, 2017, vol. 24, pp. 1159–1170. DOI: 10.1007/s10570-016-1163-z.
12. Rosace G., Colleoni C., Trovato V., Iacono G., Malucelli G. *Cellulose*, 2017, vol. 24, pp. 3095–3108. DOI: 10.1007/s10570-017-1294-x.
13. Kim S.J., Jang J. *Fibers and Polymers*, 2017, vol. 18, pp. 2328–2333. DOI: 10.1007/s12221-017-7628-3.
14. Grancaric A.M., Botteri L., Alongi J., Malucelli G. *Cellulose*, 2015, vol. 22, pp. 2825–2835. DOI: 10.1007/s10570-015-0671-6.
15. Lu Y., Jia Y., Zhou Y., Zou J., Zhang G., Zhang F. *Carbohydrate Polymers*, 2018, vol. 201, pp. 438–445. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.08.078.
16. Ismail W.N.W. *J Sol-Gel Sci. Technol.*, 2016, vol. 78, pp. 698–707, DOI: 10.1007/s10971-016-4027-y.
17. Malucelli G. *Coating*, 2016, vol. 6, p. 33. DOI: 10.3390/coatings6030033.
18. Alongi J., Colleoni C., Rosace G., Malucelli G. *Polymer Degradation and Stability*, 2014, vol. 99, pp. 92–98. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.11.020.
19. Ren Y., Zhang Y., Gu Y., Zeng Q. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 112, pp. 225–233. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.07.022.
20. Colleoni C., Donelli I., Freddi G., Guido E., Migani V., Rosace G. *Surface & Coatings Technology*, 2013, vol. 235, pp. 192–203. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.07.033.
21. Zhang D., Williams B.L., Shrestha S.B., Nasir Z., Becher E.M., Lofink B.J., Santos V.H., Patel H., Peng X., Sun L. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, vol. 505, pp. 892–899. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.06.087.
22. Vasiljevic J., Toms B., Jerman I. *J Sol-Gel Sci Technol.*, 2014, vol. 70, pp. 385–399. DOI: 10.1007/s10971-014-3294-8.
23. Pan C., Shen L., Shang S., Xing Y. *Applied Surface Science*, 2012, vol. 259, pp. 110–117. DOI: 10.1016/j.apusc.2012.07.001.
24. Lin D., Zeng X., Li H., Lai X. *Cellulose*, 2018, vol. 25, pp. 3135–3149. DOI: 10.1007/s10570-018-1748-9.
25. Lin D., Zeng X., Li H., Lai X., Wu T. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2019, vol. 533, pp. 198–206. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.08.06.
26. Zhang D., Williams B.L., Shrestha S.B. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, vol. 505, pp. 892–899. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.06.087.
27. Foksowicz-Flaczyk J., Walentowska J., Przybylak M., Maciejewski H. *Surface & Coatings Technology*, 2016, vol. 304, pp. 160–166. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.06.062.
28. Li Y., Wang B., Sui X., Xie R., Xu H., Zhang L., Zhong Y., Mao Z. *Applied Surface Science*, 2018, vol. 435, pp. 1337–1343.
29. Irfan M., Perero S., Miola M., Maina G., Ferri A., Ferraris M., Balagna C. *Cellulose*, 2017, vol. 24, pp. 2331–2345. DOI: 10.1007/s10570-017-1232-y.
30. Rosace G., Castellano A., Trovato V., Iacono G., Malucelli G. *Carbohydrate Polymers*, 2018, vol. 196, pp. 348–358. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.05.012.
31. Tausarova B.R., Takey Ye. *Nano industriya*, 2018, vol. 80, no. 1, pp. 68–73. (in Russ.).
32. Takey Ye., Tausarova B.R. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2017, vol. 371, no. 5, pp. 35–39. (in Russ.).
33. Grancaric A.M., Colleoni G., Guido E., Botteri L., Rosace G. *Progress in Organic Coatings*, 2016, pp. 174–181. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.10.035.
34. Liu Y., Pan Y.T., Wang X., Acuña P., Zhu P., Wagenknecht U., Heinrich G., Zhang X.Q., Wang R., Wang D.Y. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 294, pp. 167–175. DOI: 10.1016/j.cej.2016.02.080.
35. Patent 33177 (KZ). 2018. (in Russ.).
36. Shabanova N.A., Popov V.V., Sarkisov P.D. *Khimiya i tekhnologiya nanodispersnykh oksidov*. [Chemistry and technology of nanosized oxides]. Moscow, 2006, 309 p. (in Russ.).

Received July 28, 2018

Revised July 6, 2019

Accepted September 13, 2019

For citing: Tausarova B.R., Stasenko A.Yu. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 365–372. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpm.2019044286.