

## О возможности модернизации состава кабельного ПВХ-пластиката

### On the possibility of upgrading the composition of cable PVC compound

Т.А. БОРУКАЕВ<sup>1</sup>, А.Х. МАЛАМАТОВ<sup>1</sup>, А.Х. САЛАМОВ<sup>2</sup>

T.A. BORUKAEV<sup>1</sup>, A.KH. MALAMATOV<sup>1</sup>, A.KH. SALAMOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик

<sup>3</sup>Ингушский государственный университет, г. Магас

<sup>1</sup> Kabardino-Balkar state University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia

<sup>2</sup> Ingush state University, Magas, Russia

boruk-chemical@mail.ru

Проведена модернизация состава кабельного поливинилхлоридного пластиката марки И40-13А гидроксидом алюминия. Исследованы огнестойкость, теплофизические и физико-механические свойства полученных компаундов. Показано, что модернизация состава кабельного поливинилхлоридного пластиката гидроксидом алюминия приводит к получению огнестойкого компаунда. Обнаружено, что гидроксид алюминия заметно изменяет теплофизические свойства кабельного пластиката. В частности, существенно снижается тепловыделение, дымообразование при горении пластиката. Установлено, что физико-механические и реологические характеристики кабельного пластиката при модернизации его состава гидроксидом алюминия остаются на уровне исходного компаунда. При этом оптимальным количеством гидроксида алюминия для модернизации кабельного пластиката марки И40-13А является 10–15 масс.%.

*Ключевые слова:* поливинилхлорид, пластикат, состав, модернизация, гидроксид алюминия, свойства

Upgrade of the composition of cable PVC-compound grade I40-13A with aluminum hydroxide has been carried out. Fire resistance, thermophysical and physical-mechanical properties of the obtained compounds have been investigated. It is shown that the modernization of the composition of cable PVC compound with aluminum hydroxide enables production of a fire-resistant compound. It was found that aluminum hydroxide significantly changes the thermophysical properties of cable plastic compound. In particular, heat generation and smoke generation during plastic compound combustion are significantly reduced. It has been established that the physical-mechanical and rheological characteristics of the cable compound modernized with aluminum hydroxide remain at the level of the original compound. The optimal amount of aluminum hydroxide for the modernization of cable plastic compound of the I40-13A grade is 10–15 wt.%.

*Keywords:* polyvinylchloride, plasticate, composition, modernization, aluminum hydroxide, properties

DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-7-10

В современной промышленности основным материалом, используемым в качестве изоляции и оболочки электрических проводов и кабелей, являются пластикаты на основе поливинилхлорида (ПВХ) [1, 2]. При этом при разработке ПВХ-пластикатов, отвечающих современным требованиям, используют достаточное количество ингредиентов различного происхождения [3–5]. Причем число и количество компонентов варьируется в широких пределах, а также не всегда удается оптимизировать состав ПВХ-пластиката, чтобы основные показатели пластиката удовлетворяли современным требованиям. Решить возникающие при разработке новых составов ПВХ-пластикатов проблемы возможно с помощью незначительного изменения рецептуры промышленно освоенных кабельных компаундов [6, 7]. В частности, на базе кабельных марок ПВХ-пластикатов с незначительной модернизацией их составов можно разработать перспективные компаунды, которые по своим физико-механическим характеристикам будут удовлетворять требованиям современной техники [8, 9]. В связи с этим целью настоящей работы является показать возможность модернизации состава промышленного кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А гидроксидом алюминия и создания компаунда с комплексом ценных свойств, которые отвечали бы современным требованиям к изоляционным материалам в кабельной промышленности.

В работе для модернизации рецептуры в качестве исходного ПВХ-пластиката использовали промышленный кабельный ПВХ-пластикат марки И40-13А, рец. 8/2, состав которого показан в таблице 1.

Для модернизации состава промышленного кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А использовали гидроксид алюминия

(Al(OH)<sub>3</sub> или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O), который используют в полимерной промышленности в качестве эффективного антипирена и наполнителя [10, 11]. Использованный в работе гидроксид алюминия представлял собой белое кристаллическое вещество с плотностью 2,42 г/см<sup>3</sup> и размером частиц 3–5 мкм.

**Таблица 1. Состав промышленного кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А.**

Наименование компонента	Количество, масс.%	Обозначение документа
ПВХ суспензионный	62,112	ТУ 2212-012-466963-2008
Диоктилфталат	27,390	ГОСТ 8728-88
Свинец сернистокислый трехосновный	2,490	ТУ 2492-004-10269039-05
Дифенилпропан	0,056	ГОСТ 12138-86
Мел природный тонкодисперсный	6,170	ТУ 5743-001-22242270-2002
Кислота стеариновая	0,056	ГОСТ 6484-96
Кальция стеарат	1,261	ТУ 6-0917-317-96
Эпоксидированное соевое масло	0,365	ТУ 6-10-722-72

Гидроксид алюминия вводили в ПВХ-пластикат следующим образом. В двухскоростном смесителе R600/HC2500 производства фирмы Diosna, технические характеристики которого позволяют интенсивно и турбулентно смешивать, в процессе получения ПВХ-пластиката марки И40-13А по ГОСТ 5960-72 добавляли

Таблица 2. Влияние гидроксида алюминия на скорость горения, КО и КИ ПВХ-пластиката марки И40-13А.

Показатель	Содержание АТГ в ПВХ-пластикате, масс. %						
	0	6	8	10	15	25	30
Скорость горения, мм/мин	105	38	21	12	гаснет	гаснет	гаснет
КО, %	3	4	6	7	8	9	11
КИ, %	не норм.	28	30	31	32	33	30

необходимое количество гидроксида алюминия и перемешивали до высокой гомогенизации композиции. После интенсивного перемешивания ПВХ-пластиката с гидроксидом алюминия в горячем смесителе при температуре 110–120°C полученный сыпучий материал перегружали в холодный смеситель и охлаждали до температуры 40°C. Охлажденную смесь затем подавали в двухшнековый экструдер, где экструдировали при следующих температурных режимах по зонам: I – 145°C, II – 150°C, III – 155°C, IV – 165°C. Скорость вращения шнека 48 об/мин.

Содержание гидроксида алюминия в ПВХ-пластикате варьировали от 6 до 30 масс.%. Затем экструдаты гранулировали и использовали для изготовления соответствующих образцов для испытаний.

Образцы ПВХ-пластиков для испытаний готовились методом литья под давлением на литьевой машине Politest компании Ray-Rap при температуре материального цилиндра 165–170°C, температуре формы 60°C и давлении запыриания 8 бар.

Перед проведением термодинамических, механических испытаний, а также испытаний огнестойкости, образцы кондиционировались в стандартной атмосфере согласно ГОСТ 12423-66 не менее 16 ч.

Для определения линейной скорости выгорания образцов на основе ПВХ-пластиков применяли стандартные пластины с размерами 100×10×1 мм, высота пламени составляла 100 мм.

Кислородный индекс (КИ, %) определяли по ГОСТ 12.1.044-89 на приборе фирмы Noselab ast. Fire testing, модель Oxugen Index (Италия). Образцы представляли собой бруски длиной 80–120 мм, шириной (10±0,5) мм и толщиной 3–4 мм.

Коксовый остаток (КО, %) определялся термогравиметрическим методом. Образцы промышленного ПВХ-пластиката и модернизированных компаундов выдерживали при температуре 800°C в муфельной печи в течение часа. Скорость подъема температуры 5°C/мин. Затем находили разницу в массе навесок до и после выдерживания в муфельной печи и вычисляли коксовый остаток.

Эффективную теплоту сгорания ПВХ-пластиков определяли по ISO 5660-1:2002 [12] с использованием кон-калориметрического метода исследования горючести материалов. При этом образцы кабельных компаундов размером 150×150×2,0 мм подвергали воздействию теплового потока мощностью 35 кВт/м<sup>2</sup>. Существует два вида условий для проведения испытаний на кон-калориметре: без пламени (тление): источник тепла – вертикальная печь с излучением 35–50 кВт/м<sup>2</sup>; с пламенем (горение): пламя находится на расстоянии 6,4 мм от образца. Этот метод исследования оценивает ослабление пламени, вызванное дымом, собирающимся в камере для испытаний. Образование дыма происходит в результате пиролиза (тления) или окисления (горения). За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех измерений.

Показатель текучести расплава (ПТР) определяли на капиллярном вискозиметре ИИРТ-А (груз – 10 кг, температура 190°C). Диаметр капилляра 2 мм.

Плотность ПВХ-пластиков определяли по ГОСТ 15139-69 методом гидростатического взвешивания в дистиллированной воде при температуре (20±2)°C на литьевых образцах.

Механические испытания на одноосное растяжение выполняли на образцах в форме двухсторонней лопатки с размерами по ГОСТ 112-80. Испытания проводили на универсальной испытательной машине Gotech Testing Machine CT-TCS 2000 производства Тайвань при температуре от –30°C до +70°C и скорости растяжения 10 мм/мин.

В работе для модернизации состава кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А в компаунд дополнительно вводили гидроксид алюминия в количестве от 6 до 30 масс.%.

Результаты исследований показали, что введение в кабельный ПВХ-пластикат гидроксида алюминия приводит к заметному изменению огнестойкости компаунда (табл. 2). Так, исходный ПВХ-пластикат марки И40-13А при нахождении в пламенной зоне горит

(КИ = 26%). При этом процесс горения сопровождается образованием значительного количества дыма. В отличие от него, образцы ПВХ-пластиката, содержащие гидроксид алюминия, имеют КИ около 30% и горят значительно дольше. Причем модернизированные образцы пластиката образуют меньшее количество дыма.

В таблице 2 приведены значения линейной скорости выгорания полученных компаундов при содержании различного количества гидроксида алюминия.

Как видно из таблицы 2, введение гидроксида алюминия в ПВХ-пластикат в количестве больше 10 масс.% приводит к тому, что при выносе из пламенной зоны образцы гаснут. При этом следует отметить, что при горении и тлении данных компаундов, в отличие от исходного промышленного пластиката, не происходит образование значительного количества дыма.

Следует отметить, что в полученных компаундах вследствие снижения теплового эффекта при их горении и катализа процесса коксования количество КО в модернизированных составах пластиката выше, чем у промышленного компаунда (табл. 2). В частности, анализ результатов термических исследований полученных нами компаундов показал, что введение в кабельный ПВХ-пластикат марки И40-13А гидроксида алюминия способствует увеличению КО по сравнению с исходным пластикатом в 2 и более раза. Результаты определения КО согласуются со значениями линейной скорости выгорания пластикатов (табл. 2).

Как показала рентгенофлюорограмма (рис. 1 и 2), содержание хлора в КО ПВХ-пластиката марки И40-13А, модернизированного гидроксидом алюминия, значительно (в 2–2,5 раза) больше по сравнению с исходным компаундом, что свидетельствует о связывании выделяющегося хлороводорода добавкой. В свою очередь, это снижение токсичности дыма в условиях горения пластиката.

В пользу повышения огнестойкости кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А при модернизации его состава гидроксидом алюминия говорят и результаты определения КИ пластикатов. В частности, из таблицы 2 видно, что введение в рецептуру кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А дополнительно гидроксида алюминия приводит к увеличению КИ пластиката. Повышение огнестойкости исходного ПВХ-пластиката при введении гидроксида алюминия связано с поглощением подводимого тепла, затрачиваемого на разложение добавки и испарение выделяющейся воды, а также со снижением температуры пламени за счет освобожденной воды, которая может препятствовать цепной реакции окисления в газовой фазе. Выделяющаяся вода способствует охлаждению пламени и образованию над пламенной зоной паровой оболочки. В свою очередь, оболочка препятствует диффузии кислорода к поверхности пластиката и разбавляет выделяющиеся при деструкции матрицы горючие газы. Все это защищает поверхность полимера от обратной тепловой энергии пламени [13].

Следует отметить, что ПВХ сам по себе является достаточно трудногорючим материалом. Однако его горючесть повышается вследствие введения в полимер пластификаторов [14], которые облегчают перерабатываемость полимера. Используемый исходный кабельный ПВХ-пластикат тоже представляет собой пластифицированный полимер, где содержание пластификатора более 50 масс.ч. [15]. В свою очередь, это значительно повышает его горючесть, что представляет проблему. Причем при горении кабельных ПВХ-пластиков выделяется значительное количество токсичного дыма [16]. В связи с этим химики-технологи, инженеры занимаются разработкой перспективных составов ПВХ-пластиков, содержащих эффективные и достаточно доступные подаватели дыма [17]. В этом плане наиболее привлекательным и широко используемым в промышленности является гидроксид алюминия, который является наиболее распространенным антипиреном [18].

Для оценки влияния добавки гидроксида алюминия на устойчивость к горению и способность изменения процесса горения

Таблица 3. Данные кон-калориметрии ПВХ-пластикат + Al(OH)<sub>3</sub>.

Образец	Среднее значение тепловыделения, кВт/м <sup>2</sup>	Максимальная скорость тепловыделения, кВт/м <sup>2</sup>	Средняя теплота сгорания, МДж/кг	Удельное дымовыделение, м <sup>2</sup> /кг	T <sub>max</sub> дыма, °С
ПВХ-пластикат И40-13А	88	260	50	17000	83
ПВХ-пластикат И40-13А + 6% Al(OH) <sub>3</sub>	80	225	48	11000	78
ПВХ-пластикат И40-13А + 8% Al(OH) <sub>3</sub>	73	215	48	9800	73
ПВХ-пластикат И40-13А + 10% Al(OH) <sub>3</sub>	64	192	46	9700	72
ПВХ-пластикат И40-13А + 15% Al(OH) <sub>3</sub>	58	156	45	8600	72
ПВХ-пластикат И40-13А + 20% Al(OH) <sub>3</sub>	55	157	45	7950	71
ПВХ-пластикат И40-13А + 25% Al(OH) <sub>3</sub>	55	155	44	7900	68

Таблица 4. Физико-механические свойства ПВХ-пластикат+Al(OH)<sub>3</sub>.

Образцы	ПТР, г/(10мин)	Прочность, МПа	ε, %	г
ПВХ-пластикат И40-13А	0,5	19,6	250	1,320
ПВХ-пластикат И40-13А + 6% Al(OH) <sub>3</sub>	0,9	17,8	238	1,350
ПВХ-пластикат И40-13А + 8% Al(OH) <sub>3</sub>	10,0	17,3	235	1,370
ПВХ-пластикат И40-13А + 10% Al(OH) <sub>3</sub>	12,3	17,0	230	1,380
ПВХ-пластикат И40-13А + 15% Al(OH) <sub>3</sub>	13,0	16,7	223	1,450
ПВХ-пластикат И40-13А + 20% Al(OH) <sub>3</sub>	23,0	16,5	222	1,460
ПВХ-пластикат И40-13А + 25% Al(OH) <sub>3</sub>	32,0	16,3	220	1,480

ПВХ-пластиката марки И40-13А были проведены исследования компаундов на кон-калориметре и определены теплофизические показатели процесса горения образцов (табл. 3).

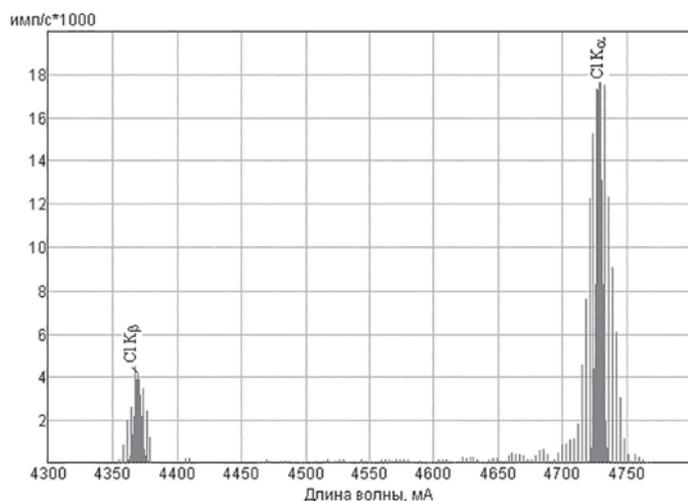
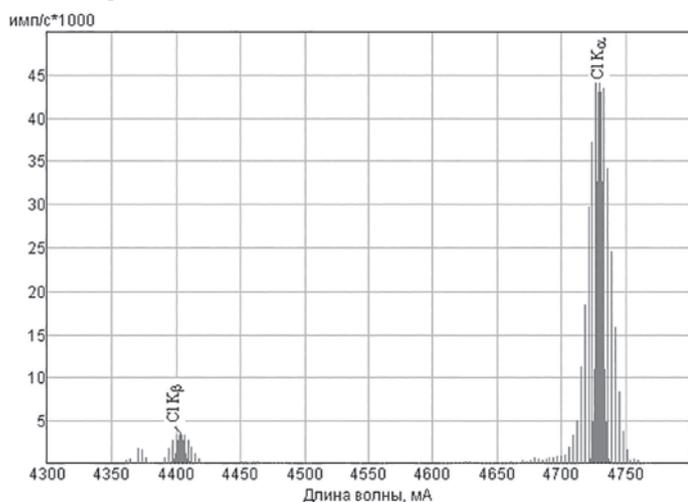


Рис. 1. Рентгенофлюорограмма коксового остатка ПВХ-пластиката И-40-13А, рец. 8/2.

Рис. 2. Рентгенофлюорограмма коксового остатка ПВХ-пластиката + 10% Al(OH)<sub>3</sub>.

Из таблицы 3 видно, что введение гидроксида алюминия в ПВХ-пластикат приводит к значительному изменению процесса горения компаунда. В частности, в процессе горения ПВХ-пластиката, содержащего гидроксид алюминия, количество и скорость тепловыделения значительно ниже, чем у исходного ПВХ-пластиката марки И401-13А. Такое поведение ПВХ-пластиката с гидроксидом

алюминия объясняется образованием на поверхности материала графитоподобной обугленной, устойчивой к растрескиванию корки, которая препятствует процессу тепловыделения.

Важно отметить, что образованная корка будет тормозить процесс образования различных ароматических элементов. Последние характерны при образовании дыма в процессе горения и тления. Следовательно, при равных условиях горения ПВХ-пластикатов исходный образец, в отличие от модифицированного пластиката, содержащего гидроксид алюминия, будет способствовать дальнейшему распространению зоны горения.

Об изменении процесса горения и снижении выделяющегося дыма говорят и результаты оценки количества образующегося дыма при горении исходного промышленного ПВХ-пластиката и пластиката с гидроксидом алюминия (табл. 3). В частности, из таблицы видно, что количество образующегося дыма при горении ПВХ-пластиката, содержащего гидроксид алюминия, значительно ниже, чем при горении промышленного пластиката. Такое снижение количества выделяющегося дыма при горении ПВХ-пластиката, содержащего гидроксид алюминия, подтверждает эффективность использования гидроксида алюминия. Кроме этого, введение гидроксида алюминия в ПВХ-пластикат позволяет снизить температуру выделяющегося дыма на 10–15°С в сравнении с исходным пластикатом марки И40-13А (табл. 3).

Следовательно, модернизация рецептуры ПВХ-пластиката марки И40-13А гидроксидом алюминия позволяет не только повысить его огнестойкость, но и снизить количество выделяющегося тепла, дыма и температуру последнего при горении компаунда.

Как правило, введение антипиренов, повышающих огнестойкость полимерных материалов, может привести к некоторому ухудшению физико-механических свойств, а также удорожанию материала [19, 20]. В связи с этим необходимо было решить проблему по оптимизации эксплуатационных характеристик получаемого компаунда.

Для анализа влияния гидроксида алюминия на эксплуатационные характеристики кабельного ПВХ-пластиката марки И40-13А и нахождения оптимальной концентрации, которая не оказывает негативного воздействия на его исходные свойства, были проведены физико-механические испытания полученных компаундов.

Оценку реологических характеристик ПВХ-пластикатов проводили измерением ПТР, а физико-механические свойства оценивали по изменению плотности, прочности и относительной деформации в зависимости от содержания добавки. В частности, исследования зависимости ПТР ПВХ-пластиката от концентрации гидроксида алюминия показали заметное влияние добавки на вязкость компаунда (табл. 4).

Так, из таблицы 4 видно, что введение Al(OH)<sub>3</sub> в кабельный ПВХ-пластикат марки И40-13А приводит к повышению ПТР пластиката, причем снижение вязкости происходит при увеличении содержания гидроксида алюминия. Очевидно, гидроксид алюминия

способствует повышению молекулярной подвижности, т.е. ослаблению межмолекулярных взаимодействий. В конечном итоге это приведет к улучшению перерабатываемости пластика.

Важным критерием при выборе антипиренов является сохранение механических свойств исходного полимера. С этой целью нами было исследовано влияние добавки на прочность и деформацию ПВХ-пластиката (табл. 4). Как показали исследования, введение гидроксида алюминия в ПВХ-пластикат приводит к незначительному снижению прочности и деформации. Такое снижение допустимо, т.к. при сравнении данных показателей с известными огнестойкими марками ПВХ-пластикатов можно обнаружить их соизмеримость.

Важно отметить, что введение гидроксида алюминия в ПВХ-пластикат не приводит к резкому повышению плотности (за 1,5 г/см<sup>3</sup>) пластиката (табл. 4). Данное значение плотности является «пограничным» значением, т.к. за рамками этого значения плотности расход пластиката становится больше, следовательно, и стоимость кабеля растет.

Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Показана возможность модернизации рецептуры ПВХ-пластиката марки И40-13А введением в состав пластиката гидроксида алюминия. Определенные продолжительности горения, КИ и КО полученных пластикатов показали, что модернизация рецептуры ПВХ-пластиката марки И40-13А позволяет получить огнестойкие компаунды. При этом гидроксид алюминия заметно меняет теплофизические свойства исходного пластиката. В частности, гидроксид алюминия значительно снижает тепловыделение, дымообразование при горении ПВХ-пластиката. Показано, что физико-механические и реологические характеристики модернизированного ПВХ-пластиката, содержащие гидроксид алюминия в количестве 10–15 масс.%, остаются на уровне исходного промышленного компаунда.

#### Литература

1. Пешков И.Б., Уваров Е.И. Тенденции применения некоторых полимерных материалов в кабельной промышленности // Кабели и провода. 2013. Т. 339. №2. С. 3–6.
2. Каменский М.К. Применение полимерных материалов на предприятиях Ассоциации «Электрокабель» // Кабель-news. 2010. №3. С. 55–61.
3. Гузев В.В. Структура и свойства наполненного поливинилхлорида. – СПб.: Научные основы и технологии, 2012. 426 с.
4. Гроссман Р.Ф. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ / Под ред. Гроссмана Р.Ф. Пер. с англ. под ред. В.В. Гузеева. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 614 с.
5. Николаев В.Г. Сравнительная оценка современных поливинилхлоридных пластикатов и безгалогенных композиций на основе полиолефинов // Кабели и провода. 2010. Т. 324. №5. С. 19–26.
6. Фомин Д.Л., Дебердеев Р.Я. Влияние гидроксидов алюминия и магния на свойства ПВХ-пластикатов // Пластические массы. 2012. №12. С. 47–50.
7. Мартынов А.В., Мазина Л.А., Ключников О.Р. Модификация кабельных поливинилхлоридных пластикатов пониженной горючести // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. №15. С. 73–75.
8. Аблеев Р.И. Актуальные проблемы в разработке и производстве негорючих полимерных компаундов для кабельной индустрии // Кабель-news. 2009. № 6–7. С. 64–69.
9. Фомин Д.Л., Мазина Л.А., Дебердеев Н.В., Улитин Н.В., Набиев Р.Р. Модернизация рецептур негорючих поливинилхлоридных пластикатов // Вестник КТУ. 2012. Т.15. №18. С. 107–109.
10. Мартынов А.В., Ушков В.А., Лалаян В.М., Ломакин С.М., Невзоров Д.И. Горючесть и дымообразующая способность полимерных композиционных материалов с разлагающимися минеральными наполнителями // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. №8. С. 15–24.
11. Шарипов Б.Ф., Абдрахманов Л.А., Артамонов А.В., Гаркави М.С., Нефедьев А.П., Немых Г.А. Влияние гидроксидов металлов на свойства ПВХ-композиции // Известия КГАСУ. 2016. Т. 38. №4. С. 402–408.
12. ISO 5660-1:2002. Проверка реакции на горение. Скорость тепловыделения, дымовыделения и потери массы. Часть 1. Скорость тепловыделения (метод конического калориметра). Обозначение заменяемого(ых) ISO 5660-1:1993, ISO 5660-1:1993/Cor.1:1993. Дата публикации: 01.01.2002.
13. Егоров А.Н. Влияние природы минеральных наполнителей на процессы горения полимерных материалов: дисс. на соискание ученой степени канд. хим. наук: 12.00.06. – Иркутск, 2004, – 142 с.
14. Ушков В.А., Лалаян В.М., Невзоров Д.И., Ломакин С.М. О влиянии фталатных и фосфатных пластификаторов на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. №10. С. 25–33.
15. Борукаев Т.А., Шаов А.Х., Малкандуев Ю.А. Влияние соединений молибдена на огнестойкость и физико-механические свойства ПВХ-пластиката // Пластические массы. 2017. №11–12. С. 35–40.
16. Ушков В.А. Воспламеняемость и дымообразующая способность полимерных композиционных материалов // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 8 (107). С. 897–903.
17. Барсамян Г. Что добавить к ПВХ // Пластикс. 2010. Т. 90. №8. С. 22–25.
18. Ломакин С.М., Заиков Г.Е., Микитаев А.К., Кочнев А.М., Стоянов О.В., Шкодич В.Ф., Наумов С.В. Замедлители горения // Вестник КТУ. 2012. Т. 15. №7. С. 71–86.
19. Гукешева Л.М., Тхакахов Р.Б., Бегретов М.М., Тхакахов Э.Р. Влияние концентрации и степени измельчения антипиреннаполнителя на физические свойства ПВХ композиций // Пластические массы. 2006. №6. С. 13–14.
20. Гузев В. В. Рациональный выбор добавок для композиций ПВХ // Полимерные материалы. 2010. №7–8. С. 38–48.