

УДК 678.4:629.7

*И.С. Наумов¹, А.П. Петрова¹, С.Л. Барботько¹, А.И. Гуляев¹***РЕЗИНЫ С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ
НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕН-ДИЕНОВОГО КАУЧУКА**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-9-9

Произведен выбор оптимального антипирена и его содержания в резиновой смеси для создания самозатухающей резины на основе этиленпропилен-диенового каучука (ЭПДК). Исследованы структура и комплекс физико-механических и эксплуатационных свойств резины на основе ЭПДК пониженной горючести оптимальной рецептуры. Представлены результаты по исследованию влияния размера частиц антипиренов – гидроксидов алюминия и магния – на процессы вулканизации, горючесть, физико-механические характеристики и микроструктуру резины на основе ЭПДК.

Ключевые слова: резина, этиленпропилен-диеновый каучук, антипирен, пожарная безопасность, горючесть, прочность, гидроксид алюминия, гидроксид магния, дисперсность, микроструктура.

The choice of optimum flame retardant and its content in rubber mix is made for creation of self-extinguishing rubber on basis of ethylenepropylene-diene rubber (EPDM). The structure and complex of physical-mechanical and operational properties of rubber on the basis of EPDM with lowered combustibility of optimum composition are studied. Results of research of the influence of particle size of flame retardants – aluminum and magnesium hydroxides on curing processes, combustibility, physical-mechanical characteristics and rubber microstructure on the basis of EPDM are provided.

Keywords: rubber, ethylenepropylene-diene rubber, flame retardant, fire safety, combustibility, durability, aluminum hydroxide, magnesium hydroxide, dispersion, microstructure.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

Как правило, чем шире диапазон рабочих температур резины, тем выше стоимость изделий из нее, так как полимерной основой таких резин являются каучуки специального назначения, синтез которых требует использования дорогостоящего сырья (например, высокомолекулярных кремнийорганических блок-сополимеров сложного состава) и высоких трудозатрат на переработку [1–5]. Поэтому наиболее рациональным решением является использование в узлах, не эксплуатирующихся в максимально широком температурном диапазоне, менее термоморозостойких, но при этом более дешевых и технологичных резин. Применение этиленпропилен-диеновых резин в качестве уплотнителей имеет смысл в условиях, не требующих экстремальной термо- и морозостойкости (например, уплотнители дверей и люков) [6].

Резины на основе этиленпропилен-диеновых каучуков (ЭПДК) обладают повышенной стойкостью к тепловому, озонному и световому старению, а также хорошей морозостойкостью при сохранении приемлемого уровня физико-механических показателей. Это позволяет рекомендовать их к широкому использованию для создания уплотнительных профилей различного назначения в различных отраслях промышленности.

Однако резины на основе ЭПДК имеют низкие характеристики пожаробезопасности – являются сгорающими материалами согласно методикам, используемым для оценки авиационных материалов [7–12]. Это обстоятельство – в свете ужесточения требований к материалам по пожарной безопасности – может привести к запрету на использование уплотнительных резин на основе ЭПДК в узлах летательных аппаратов.

С учетом широкого применения уплотнителей из резин на основе ЭПДК в качестве антипиренов в их составе используют гидроксиды металлов (алюминия и магния), которые, в отличие от многих других антипиренов, не наносят вреда здоровью людей вследствие отсутствия в их составе и выделяющихся при термодеструкции летучих токсичных соединений. Их антипирерирующее действие основано на отщеплении молекул воды с эндотермическим эффектом при воздействии повышенной температуры и разбавлении образующихся горючих парогазовых продуктов термоокислительной деструкции. Выделяющийся водяной пар, кроме того, препятствует доступу кислорода к зоне горения [13–20].

Исследовано влияние этих антипиренов на горючесть, физико-механические характеристики, а также структуру резин на основе ЭПДК. При проведении исследований использовали следующие антипирены:

- гидроксид алюминия по ГОСТ 11841–76;
- гидроксид алюминия марки Аругал-33;
- гидроксид алюминия марки «Фрамиал 01»;
- гидроксид магния марки «Фрамитекс 02-97».

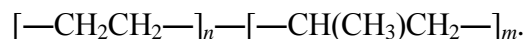
Гидроксиды алюминия отличались размером частиц.

Материалы и методы

Материалы и объекты исследования

Этиленпропилен-диеновый каучук марки СКЭПТ-50 с ДЦПД

Макромолекулы этиленпропиленового каучука (ЭПК) построены из чередующихся звеньев этилена и пропилена:



В промышленности в качестве исходных несопряженных диенов при синтезе ЭПДК применяются 5-этилиден-2-норборнен (ЭНБ), дициклопентадиен (ДЦПД) и 1,4-гексадиен (ГД). Внедрение несопряженных диенов в полимерную цепь тройных этиленпропиленовых каучуков происходит за счет раскрытия двойных связей. Содержание пропилена в макромолекулах этиленпропиленовых каучуков составляет 20–60% (мольн.). Сополимеры с большим и меньшим содержанием пропилена являются термопластами. Содержание диеновых звеньев составляет от 1 до 10% (мольн.).

Насыщенность двойных сополимеров и малая ненасыщенность тройных обуславливает их высокую озono-, атмосферо- и теплостойкость, стойкость к перегретому пару, а углеводородная природа каучука – высокую стойкость изделий к действию агрессивных сред (кислот, щелочей, полярных растворителей, гидравлических жидкостей и др.). Эти сополимеры характеризуются также высокими механическими, электрическими показателями, трекинговостью, морозостойкостью, удовлетворительной стойкостью к воздействию радиации, сравнительно низкой плотностью.

Применение в качестве исходных мономеров этилена и пропилена, являющихся многотоннажными продуктами нефтепереработки, определяет благоприятные экономические показатели производства этих каучуков.

Коммерческие сорта ЭПК (марка СКЭП) и ЭПДК (марка СКЭПТ) различаются по молекулярной массе, молекулярно-массовому распределению, вязкости по Муни, соотношению этилена и пропилена в сополимере, микроструктуре, а марки СКЭПТ – еще по типу и содержанию диена.

В данной работе использовали тройной сополимер этилена, пропилена и ДЦПД (марка СКЭПТ-50 с ДЦПД).

Гидроксид алюминия по ГОСТ 11841–76

Химическая формула: $Al(OH)_3$.

Гидроксид Al получают воздействием щелочей на соли алюминия и гидролизом солей алюминия, используют в полимерной промышленности в качестве антипирена с плотностью 2420 кг/м^3 , насыпной плотностью 1380 кг/м^3 , температурой разложения $\sim 190^\circ\text{C}$ и размером частиц 20–100 мкм.

Гидроксид алюминия марки Аругал-33

Аругал-33 – антипирен с насыпной плотностью 550 кг/м^3 , температурой разложения $\sim 200^\circ\text{C}$ и размером частиц 6–20 мкм.

Гидроксид алюминия (специальный) марки «Фрамиал 01»

«Фрамиал 01» – антипирен с насыпной плотностью $300\text{--}500 \text{ кг/м}^3$, температурой разложения $\sim (200\text{--}210)^\circ\text{C}$ и средним размером частиц 1,8 мкм (наименьший размер частиц из всех известных отечественных аналогов).

Гидроксид магния марки «Экопирен 3.5С»

Химическая формула: $Mg(OH)_2$.

«Экопирен 3.5С» – антипирен с насыпной плотностью $400\text{--}500 \text{ кг/м}^3$, температурой разложения $\sim (310\text{--}320)^\circ\text{C}$ и размером частиц 3–11 мкм.

Поверхностно модифицированный гидроксид магния марки «Фрамитекс 02-97»

(ТУ2133 011 40705684–2005)

«Фрамитекс 02-97» – антипирен, поверхностно модифицированный жирными кислотами для лучшего распределения в полимерных смесях, с насыпной плотностью $500\text{--}600 \text{ кг/м}^3$, температурой разложения $\sim (310\text{--}320)^\circ\text{C}$ и средним размером частиц 2,2 мкм (наименьший размер частиц из всех известных отечественных аналогов).

Методы исследования

Из вулканизированных пластин с помощью штанцевых ножей изготавливают стандартизованные образцы для проведения испытаний.

Испытания физико-механических и эксплуатационных свойств образцов вулканизатов проводили в соответствии с ГОСТ 270–75, ГОСТ 263–75, ГОСТ 27110–86, ГОСТ 7912–74, ГОСТ 13808–79, ГОСТ 9.024–74, ГОСТ 9.049–91 [21].

Исследование вулканизационных характеристик резиновых смесей проводили по ГОСТ 12535–84 (метод Б) на приборе MonTech MDR-3000 Basic, подключенном к персональному компьютеру. Результаты исследований в виде реологических кривых и таблиц показателей сохраняли в памяти персонального компьютера.

Исследования микроструктуры образцов резин проводили методом растровой электронной микроскопии (ГОСТ 21006–75) на срезах. На поверхность образцов нанесли токопроводящий слой (слой платины толщиной 10–15 нм) на установке для ионного напыления JFC-1600. Исследование проводили на растровом электронном микроскопе Zeiss EVO MA 10 при ускоряющих напряжениях от 15 до 20 кВ. Получены изображения микроструктуры резин в режимах вторичных и обратноотраженных электронов при увеличениях от $\times 400$ до $\times 10000$.

Определение характеристик пожарной безопасности образцов резин проводили согласно методике, изложенной в авиационных нормах АП-25, Приложение F, Часть I, а также ОСТ1 90094–79 [22, 23].

Испытывали образцы вулканизатов в виде пластин толщиной 2 мм. Продолжительность воздействия пламени составляла 12 с. Испытания проводили при вертикальной ориентации образцов вулканизатов (наиболее жесткие условия).

Для каждого исследуемого образца определяли следующие показатели:

- продолжительность самостоятельного горения – промежуток времени, в течение которого образец продолжает гореть после удаления пламени горелки;
- продолжительность тления – промежуток времени, в течение которого образец продолжает тлеть после удаления пламени горелки и прекращения пламенного горения;
- длина обуглившейся части образца – расстояние от нижней грани образца до наиболее удаленной части повреждения; при этом в длину обуглившейся части включают зоны частичного поражения (обугливания или охрупчивания) и не включают зоны, покрытые сажей, пятнами, а также зоны коробления или обесцвечивания.

Исследуемые материалы по степени горючести при испытании в вертикальном положении согласно ОСТ1 90094–79 классифицируются следующим образом:

- *трудногорающие* – материалы, у которых после удаления источника пламени не наблюдается остаточное горение и тление, а средняя длина прогоревшей части составляет <170 мм;
- *самозатухающие* – материалы, у которых после удаления источника пламени остаточное горение или тление длится не более 15 с, а средняя длина прогоревшей части составляет <170 мм;
- *сгорающие* – материалы, не удовлетворяющие требованиям вышеуказанных категорий.

Результаты

Известно, что введение антипиренов в резиновые смеси ухудшает их физико-механические характеристики. Исходя из этого, определено минимально возможное содержание антипиренов, позволяющее обеспечить необходимую пожарную безопасность резины [24–27].

Проведены исследования по опробованию в качестве антипиренов для резиновой смеси на основе ЭПДК (каучук марки СКЭПТ-50 с ДЦПД) наиболее тонкодисперсных гидроксидов металлов – гидроксида алюминия марки «Фрамиал 01» и гидроксида магния марки «Фрамитекс 02-97» производства ЗАО «Геоком». Данные антипирены вводили в сырую резиновую смесь на вальцах резиносмесительных установок в различных количествах – от 100 до 160 мас. ч. С целью оценки влияния дисперсности антипиренов на свойства резин также изготовлены резиновые смеси с применением более грубодисперсных гидроксидов алюминия и магния. Установлено оптимальное содержание антипиренов в резинах. Физико-механические свойства полученных резин представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-механические свойства и горючесть вулканизатов резиновых смесей
на основе каучука марки СКЭПТ-50 с ДЦПД с антипиренами – гидроксидами алюминия
и магния различной дисперсности**

Антипирен и его количество	Продолжи- тельность остаточного горения и (или) тления, с	Классификация горючести образца по ОСТ1 90094–79	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве		Твердость по Шору А, усл. ед.
				Относительное остаточное удлинение после разрыва	%	
Без антипирена	>60	Сгорающий	10,6	420	15	58
Гидроксид алюминия по ГОСТ 11841–76 (150 мас. ч.)	>60	-«-	5,0	360	17	67
Гидроксид алюминия марки Аругал-33 (150 мас. ч.)	22	-«-	6,1	380	18	65
Гидроксид алюминия марки «Фрамиал 01», мас. ч.:						
100	>60	-«-	7,8	420	20	63
125	>60	-«-	7,0	420	21	65
150	16	-«-	6,4	420	23	67
160	10	Самозатухающий	6,2	420	24	68
Гидроксид магния марки «Экопирен 3.5С» (150 мас. ч.)	29	Сгорающий	6,8	370	34	64
Гидроксид магния марки «Фрамитекс 02-97», мас. ч.:						
100	>60	-«-	7,0	390	25	65
125	20	-«-	6,4	380	27	68
150	4	Самозатухающий	5,2	370	30	70

Исследованы основные эксплуатационные характеристики образцов резин оптимальных рецептур на основе ЭПДК (табл. 2–4).

Таблица 2

**Эксплуатационные характеристики исходной и самозатухающих резин
на основе каучука марки СКЭПТ-50 с ДЦПД**

Антипирен и его количество	Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению (K_B) при температуре, °С		Относительная остаточная деформация сжатия (ОДС) в среде воздуха, %, после 100°С, в течение, ч		Сопротивление раздиру, кН/м
	-45	-50	24	72	
Без антипирена	0,30	0,18	32	47	26,0
Гидроксид алюминия марки «Фрамиал 01» (160 мас. ч.)	0,23	0,11	43	59	21,7
Гидроксид магния марки «Фрамитекс 02-97» (150 мас. ч.)	0,21	0,09	49	67	20,7

Таблица 3

Физико-механические свойства и горючесть вулканизатов резиновых смесей на основе каучука марки СКЭПТ-50 с ДЦПД с тонкодисперсными антипиренами – гидроксидами алюминия и магния – после ускоренного теплового старения на воздухе при 150°С в течение 24 ч

Антипирен и его количество	Продолжительность остаточного горения и (или) тления, с	Классификация горючести образца по ОСТ1 90094–79	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве		Твердость по Шору А, усл. ед.
				при разрыве	остаточное удлинение после разрыва	
				%		
Без антипирена	>60	Сгорающий	11,0	260	6	63
Гидроксида алюминия марки «Фрамиал 01» (160 мас. ч.)	12	Самозатухающий	6,5	290	12	73
Гидроксид магния марки «Фрамитекс 02-97» (150 мас. ч.)	5	-«-	5,6	280	20	75

Таблица 4

Физико-механические свойства и горючесть вулканизатов резиновых смесей на основе каучука марки СКЭПТ-50 с ДЦПД с тонкодисперсными антипиренами – гидроксидами алюминия и магния – после ускоренного теплового старения на воздухе при 200°С в течение 24 ч

Антипирен и его количество	Продолжительность остаточного горения и (или) тления, с	Классификация горючести образца по ОСТ1 90094–79	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве		Твердость по Шору А, усл. ед.
				при разрыве	остаточное удлинение после разрыва	
				%		
Без антипирена	>60	Сгорающий	4,5	30	1	88
Гидроксид алюминия марки «Фрамиал 01» (160 мас. ч.)	>60	-«-	2,5	20	1	92
Гидроксид магния марки «Фрамитекс 02-97» (150 мас. ч.)	10	Самозатухающий	2,7	20	1	95

Исследованы вулканизационные характеристики резиновых смесей оптимальных рецептов, использованных для получения резин с пониженной горючестью (рис. 1).

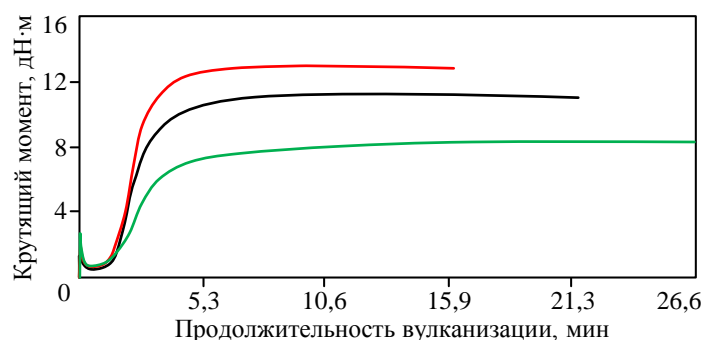


Рис. 1. Вулканизационные кривые резиновых смесей на основе каучука марки СКЭПТ-50 с дициклопентадиеном при температуре 150°С:

— исходная резиновая смесь (без антипиренов); — резиновая смесь с добавлением 160 мас. ч. гидроксида алюминия марки «Фрамиал 01»; — резиновая смесь с добавлением 150 мас. ч. гидроксида магния марки «Фрамитекс 02-97»

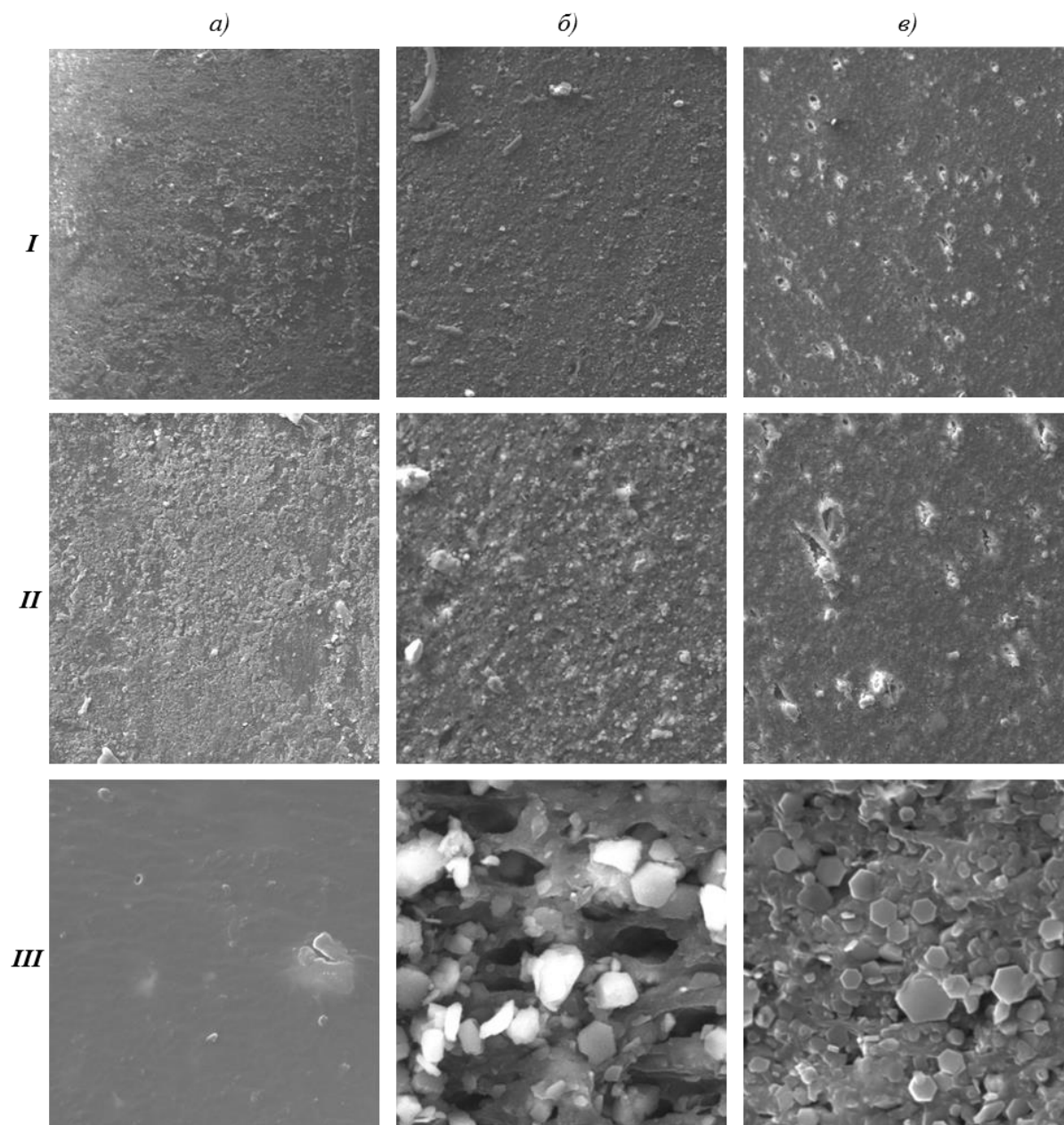


Рис. 2. Микроструктура (I – $\times 400$; II – $\times 1000$; III – $\times 10000$) резин на основе каучука марки СКЭПТ-50 с дициклопентадиеном без антипиренов (а), с добавлением 160 мас. ч. гидроксида алюминия марки «Фрамиал 01» (б) и 150 мас. ч. гидроксида магния марки «Фрамитекс 02-97» (в)

С помощью растрового электронного микроскопа получены микрофотографии поверхности срезов резин с целью установления влияния антипиренов на структуру резин при различных увеличениях (рис. 2).

Обсуждение и заключения

Установлено, что для получения самозатухающих резин на основе ЭПДК необходимо введение в сырые резиновые смеси гидроксида алюминия марки «Фрамиал 01» в количестве 160 мас. ч. или гидроксида магния марки «Фрамитекс 02-97» в количестве 150 мас. ч. При этом физико-механические характеристики полученных резин сохраняются на приемлемом уровне (см. табл. 1).

Из анализа данных, представленных в табл. 2, видно, что добавление антипиренов несколько ухудшает морозостойкость резин на основе каучука марки СКЭПТ-50. Тем не менее нижний температурный предел эксплуатации полученных образцов самозатухающих резин можно определить как -45°C (коэффициент K_v при данной температуре составил $>0,2$).

Из анализа данных, представленных в табл. 3 и 4, видно, что верхний температурный предел эксплуатации полученных негорючих резин составляет $\sim 150^{\circ}\text{C}$. При экспозиции при данной температуре на воздухе в течение 24 ч резины на основе каучука марки СКЭПТ-50 с антипиренами остаются самозатухающими, сохраняя на хорошем уровне значения упруго-прочностных свойств.

Из анализа вулканизационных кривых, представленных на рис. 1, следует, что:

– добавление антипиренов в резиновые смеси на основе ЭПДК незначительно влияет на значение максимального крутящего момента (M_{\max}), а следовательно, на жесткость вулканизатов. Добавление гидроксида алюминия повышает жесткость вулканизата, а добавление гидроксида магния снижает ее;

– добавление гидроксида алюминия практически не влияет на оптимальное время вулканизации ($\tau_{\text{опт}}$);

– добавление гидроксида магния увеличивает $\tau_{\text{опт}}$ приблизительно с 6 до 10 мин, при этом немного увеличивается время подвулканизации (скорчинга) резиновой смеси.

Анализируя полученные микроструктуры (см. рис. 2), можно объяснить причину значительного падения упруго-прочностных характеристик резины на основе каучука марки СКЭПТ-50 с добавлением 150 мас. ч. тонкодисперсного гидроксида магния «Фрамитекс 02-97»: данный антипирен, в отличие от тонкодисперсного гидроксида алюминия марки «Фрамиал 01», неравномерно распределяется в резиновой смеси (при введении его на вальцах), образуя агломераты размером $\sim (10-20)$ мкм. Следовательно, применение гидроксида магния в резиновых смесях на основе каучука марки СКЭПТ-50 с ДЦПД посредством введения его в сырую резиновую смесь на вальцах нежелательно.

Наиболее оптимальным антипиреном для резиновых смесей на основе каучука марки СКЭПТ-50 с ДЦПД из исследованных в данной работе является тонкодисперсный гидроксид алюминия марки «Фрамиал 01». При увеличении $\times 10000$ становятся четко видны размер и морфология частиц антипиренов. Видно, что частицы антипирена марки «Фрамиал 01» представляют собой многогранники неправильной формы, а частицы антипирена марки «Фрамитекс 02-97» имеют форму гексагональных пластин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
4. История авиационного материаловедения. ВИАМ–80 лет: годы и люди / под. общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. С. 346–348.
5. Большой справочник резинщика: справочник в 2 ч. М.: ООО «Техинформ», 2012. 1385 с.
6. Технология резины: рецептуростроение и испытания: пер. с англ. / под ред. Дж.С. Дика. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 617 с.
7. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Венедиктова М.А., Наумов И.С. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 51–55.
8. Горение, деструкция и стабилизация полимеров / под ред. Г.Е. Зайкова. СПб.: Научные основы и технологии, 2008. 422 с.

9. Горючесть и дымообразующая способность полимерных материалов авиационного назначения / под ред. Р.Е. Шалина, Б.И. Паншина. М.: ВИАМ, 1986. 104 с.
10. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 269 с.
11. Барботько С.Л., Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Скрылёв Н.С. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №1. С. 56–59.
12. Барботько С.Л., Шуркова Е.Н. О пожарной безопасности материалов, используемых для изготовления внешнего контура самолетов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2011. Т. 20. №10. С. 19–24.
13. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Перфилова Д.Н., Румянцева Т.В. Пожаробезопасные литые термопласты и термоэластопласты // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2013. №11. Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2015).
14. Петрова Г.Н., Румянцева Т.В., Бейдер Э.Я. Влияние модифицирующих добавок на пожаробезопасные свойства и технологичность поликарбоната // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2013. №6. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2015).
15. Clough R.L. Aging Effects on Fire-Retardant Additives in Polymers // *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*. 1983. V. 21. P. 767–780.
16. Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №1. С. 27–30.
17. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 431–439.
18. Барботько С.Л. Пути обеспечения пожарной безопасности авиационных материалов // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 121–126.
19. Наумов И.С., Петрова А.П., Чайкун А.М. Резины уплотнительного назначения и снижение их горючести // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2013. №5. С. 28–35.
20. Митина Е.Л., Наумов И.С. Самозатухающий материал на основе комбинации хлоропренового и бутадиенового каучуков // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2012. №6. С. 9–12.
21. Митина Е.Л., Барботько С.Л. Влияние антипиренов на горючесть декоративных резин на основе комбинации бутадиен-стирольного и бутадиенового каучуков // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2012. №3. С. 17–21.
22. Наумов И.С., Чайкун А.М., Елисеев О.А. Российские и международные стандарты на методы испытаний резин, сырых резиновых смесей и высокомолекулярных каучуков // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2014. № 11. С. 4–13.
23. Авиационные правила. Часть 25 Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 3-е изд.: утв. Советом по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. М.: ОАО «Авиаиздат». 2009. 274 с.
24. ОСТ1 90094–79. Полимерные материалы. Метод определения горючести декоративно-отделочных и конструкционных полимерных материалов. М.: Типография ЦАГИ, 1980. 8 с.
25. Елисеев О.А., Краснов Л.Л., Зайцева Е.И., Савенкова А.В. Разработка и модифицирование эластомерных материалов для применения во всеклиматических условиях // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 309–314.
26. Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2013. №12. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2015).
27. Наумов И.С., Барботько С.Л., Петрова А.П., Малышева Г.В. Влияние антипиренов на свойства уплотнительной резины на основе этиленпропилен-диенового каучука (ЭПДК) // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2014. №5. С. 31–34.
28. Наумов И.С., Петрова А.П., Елисеев О.А., Барботько С.Л. Экспериментальные исследования в области создания кремнийорганических резин с пониженной горючестью // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2015. №10. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-9-9.