

УДК 678.7

С.Н. Семенова<sup>1</sup>, А.М. Чайкун<sup>1</sup>, Р.Р. Сулейманов<sup>1</sup>**ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНДИЕНОВЫЙ КАУЧУК  
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (обзор)**

DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-23-30

*В статье представлен литературный и патентный обзор по применению этиленпропилендиеновых каучуков в резинотехнических материалах специального назначения. Показаны свойства каучуков и их вулканизатов, перечислены основные производители на мировом рынке. Представлены способы и приемы изготовления резиновых смесей на основе этиленпропилендиеновых каучуков, в том числе рассмотрены их совместимость с другими каучуками и оптимальные условия вулканизации. Сделан вывод о большом потенциале использования этиленпропилендиеновых каучуков в разработке материалов с заранее заданными свойствами.*

**Ключевые слова:** каучуки, этиленпропилендиеновый каучук, термостойкость, озоностойкость, совместимость, межфазный агент, вулканизация.

S.N. Semenova<sup>1</sup>, A.M. Chaykun<sup>1</sup>, R.R. Suleymanov<sup>1</sup>**ETHYLENE-PROPYLENE-DIENE RUBBER  
AND ITS USE IN RUBBER MATERIALS  
FOR SPECIAL PURPOSES (review)**

*The article contains a literature and patent review of the use of ethylene-propylene-diene rubbers in rubber materials for special purposes. The properties of rubbers and their vulcanizates are shown, the main manufacturers in the world market are listed. Methods and techniques for the preparation of rubber mixtures based on ethylene-propylene-diene rubbers are presented, including their compatibility with other rubbers and optimal vulcanization conditions. It is concluded that there is a great potential for using ethylene-propylene-diene rubbers in the development of materials with desired properties.*

**Keywords:** rubbers, ethylene-propylene-diene rubber, heat resistance, ozone resistance, compatibility, compatibilizer, vulcanization.

<sup>1</sup>Федеральное 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**

В связи с интенсивной эксплуатацией авиационной техники, увеличение долговечности конструкций и изделий специального назначения является одним из стратегических направлений работы ФГУП «ВИАМ» в области создания новых материалов и усовершенствования технологий их переработки [1–5].

Актуальным является создание полимерных материалов, стойких к климатическим факторам: перепадам температур, озону и кислороду воздуха, а также к эксплуатационным факторам, таким как воздействие высоких температур [6–9]. В связи с этим в качестве полимерной основы резин рассмотрены этиленпропилендиеновые каучуки, отвечающие данным требованиям.

В статье представлен литературный и патентный обзор по применению этиленпропилендиеновых каучуков для создания различных резинотех-

нических изделий специального назначения с заданными свойствами.

Благодаря своим свойствам: химической стойкости, устойчивости к озонному старению, работоспособности в широком диапазоне температур, высокой прочности, а также доступности на рынке и относительно низкой стоимости – этиленпропилендиеновые каучуки представляют особый интерес при разработке рецептур резин с улучшенными характеристиками.

Проведенный в данной статье анализ показывает большой потенциал для расширения областей применения этиленпропилендиеновых каучуков в изделиях специального назначения авиационной промышленности.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.2. «Эластомерные и уплотнительные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1–5].

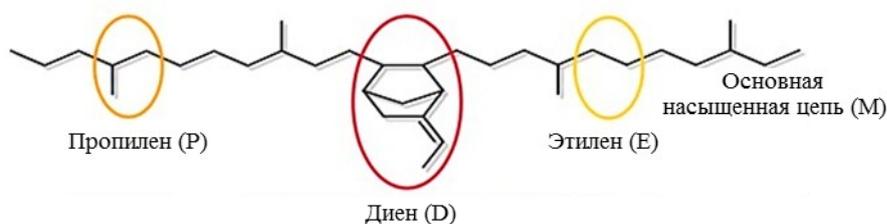


Рис. 1. Принципиальная схема химической структуры этиленпропилендиенового каучука (EPDM) с содержанием компонентов, % (по массе): 40–75 этилена, 20–60 пропилена, 0–12 диена

**Основная часть**  
*Общие сведения*

Этиленпропилендиеновые каучуки (международное название – EPDM) являются каучуками специального назначения и присутствуют на рынке материалов с 1963 г. Эти аморфные терполимеры получают путем сополимеризации этилена в различных пропорциях (терполимер содержит от 40 до 75% (по массе) этилена), пропилена и небольшого количества несопряженного диена. В качестве диена используют, например, 2-этилиден-5-норборнен или дициклопентадиен [10]. Типичная структура EPDM представлена на рис. 1.

Согласно европейским нормам EPDM является биоматериалом («материал, предназначенный для взаимодействия с биологическими системами...»). Каучук имеет высокий коэффициент раз-

бавления, способен принимать большие количества наполнителей, что позволяет в ряде случаев снижать цену резиновых смесей на его основе; обладает хорошей устойчивостью к кетонам, разбавленным кислотам и щелочам; проявляет отличную стойкость к окислению озоном, кислородом воздуха, к погодным условиям, свету, холоду; обладает отличными электроизоляционными свойствами. Однако следует отметить нестойкость EPDM к большинству масел, бензину, керосину, ароматическим и алифатическим углеводородам, галогенированным растворителям и концентрированным кислотам.

Компания ARLANXEO, один из крупнейших производителей EPDM, позиционирует его среди других эластомеров следующим образом – рис. 2.

Типичные свойства вулканизатов EPDM приведены в табл. 1 [11].

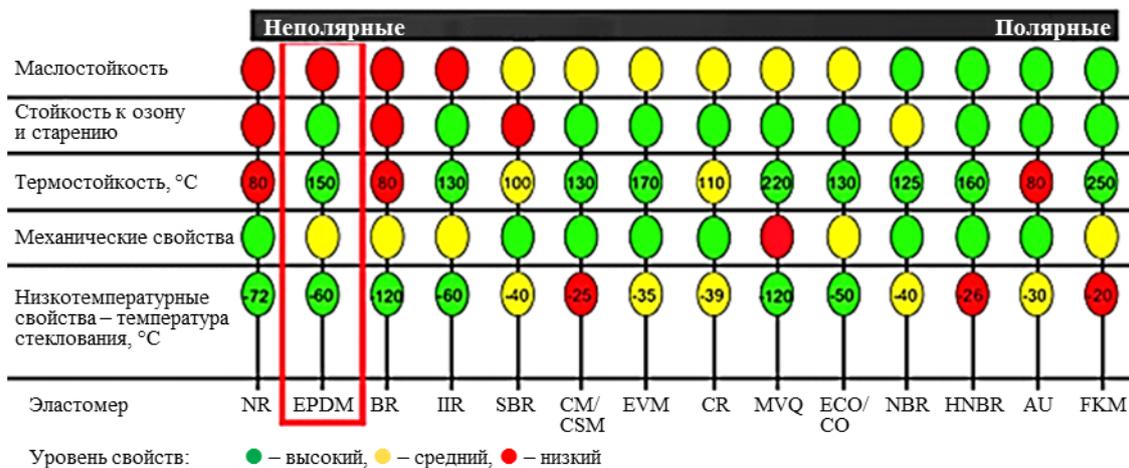


Рис. 2. Основные характеристики каучуков различной химической природы: NR – натуральный каучук, BR – бутадиеновый каучук, IIR – изобутилен-изопреновый каучук (бутилкаучук), SBR – бутадиен-стирольный каучук, CM/CSM – хлорированный и хлорсульфированный полиэтилен, EVM – этиленвинилацетат, CR – хлоропреновый каучук, MVQ – силиконовые каучуки, ECO/CO – эпихлоргидриновые каучуки, NBR – бутадиен-нитрильный каучук, HNBR – гидрированный бутадиен-нитрильный каучук, AU – полиуретановые каучуки, FKM – фторкаучуки

Таблица 1

Физико-механические свойства вулканизатов EPDM

Свойства	Значения свойств
Твердость по Шору А, усл. ед.	30–90
Условная прочность при растяжении, МПа	13–25
Относительное удлинение при разрыве, %	100–700
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,86–(>2,00)

Свойства вулканизатов зависят от природы доступных полиолефинов EPDM, от состава резиновых смесей и используемых методов их обработки и вулканизации.

Этиленпропилендиеновые каучуки используются во всех областях промышленности и применяются главным образом в уплотнениях: кольцах и профильных изделиях, таких как двери, окна, приборные панели; в теплоизоляционных и низкотемпературных уплотнителях; в уплотнениях, например, респираторов, в которых запрещено использование силикона.

Другие примеры использования: садовые шланги, трубы систем охлаждения, газоотводные трубы, геомембраны, гибкий брезент для декоративного пруда, ремни, электроизоляция, гасители вибрации, средства водонепроницаемости в оболочках электрических кабелей, водонепроницаемые кровельные материалы, которые не загрязняют стоки дождевой воды, что полезно для зеленых террас и восстановления воды.

В автомобильной промышленности EPDM применяются как для изготовления уплотнительных деталей, так и для устранения вибрации между крупногабаритными компонентами транспортного средства.

Этиленпропилендиеновые каучуки вместе с полиуретановыми связующими используются для создания мягких поверхностей детских и спортивных площадок.

В табл. 2 представлены основные производители EPDM.

#### *Совместимость EPDM с другими эластомерами*

Совместимость эластомеров представляет интерес как с технической, так и с научной точки зрения. Сочетания различных каучуков могут давать улучшенные характеристики готовых резиновых изделий по сравнению с индивидуальными полимерами.

Промышленное использование полимерных смесей широко распространено. Многие эластомеры, которые отличаются по химической структуре, смешивают для улучшения физико-механических свойств, технологичности, производительности и долговечности. Каучуки с близкими полярностями и параметрами растворимости могут быть совме-

щены для улучшения технических характеристик резиновых смесей и/или экономических параметров готового продукта.

Совместимость каучуков может быть достигнута посредством специфического взаимодействия – например, отталкивающего, диполь-дипольного, ион-дипольного, ион-ионного, водородного связывания и химической реакции между реакционно-способными компонентами смеси [12].

Коммерчески полезной является полимер-полимерная комбинация за счет межмолекулярных сил, таких как ван-дер-ваальсовы силы или дипольные моменты, которые дают достаточную термодинамическую совместимость и предотвращают разделение полимерных фаз при переработке [13].

В случае этиленпропилендиеновых каучуков для улучшения физико-механических, динамических и термических свойств, устранения слабой адгезии EPDM, а также улучшения химической стойкости применяются комбинации с другими каучуками, такими как натуральный каучук, синтетический полиизопрен, полибутадиен и т. д.

К сожалению, из-за фундаментальных различий полиолефинов и диеновых каучуков их совмещение приводит к образованию гетерогенных смесей с неудовлетворительными свойствами, т. е. эти типы каучуков «технологически несовместимы» и различаются такими свойствами, как вязкость в невулканизованном состоянии, поверхностная энергия и скорость вулканизации.

В работе [14] показано, что совместимость натурального каучука (NR) и EPDM может быть улучшена путем добавления межфазных агентов, таких как полибутадиен (BR), хлорированный каучук (CM), хлорсульфированный полиэтилен (CSM), поливинилхлорид (PVC), а также при применении привитой сополимеризации EPDM с малеиновым ангидридом [EPDM-g-MAH].

Результаты диэлектрических измерений сравнивали с результатами, полученными из расчета энергии деформации, усталостных и механических испытаний, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Так, данные РЭМ подтверждают, что полная совместимость достигается при использовании

Таблица 2

Основные производители EPDM

Компания-производитель	Коммерческое название EPDM
ARLANXEO	KELTAN
VERSALIS	DURTAL
EXXON Mobil	VISTALON
KUMHO Polychem	KEP
DOW	NORDEL
SUMITOMO Chemical	ESPRENE
УФА-ОРГСИНТЕЗ	СКЭПТ

Результаты ДСК-анализа, полученные для натурального каучука (NR), этиленпропилендиенового каучука (EPDM) и их смеси в соотношении 50/50 в отсутствие и присутствии межфазных агентов\*

Тип каучука	Температура стеклования, °С, каучука			
	NR		EPDM	
	$T_g$	$\Delta T_g$	$T_g$	$\Delta T_g$
NR	-63	–	–	–
EPDM	–	–	-37	–
NR-EPDM (без контроля совместимости)	-64	–	-45	–
NR-BR-EPDM	-58	+6	-44	+1
NR-PVC-EPDM	-62	+2	-42,5	+2,5
NR-g-MAH-EPDM	-60	+4	-40	+5
NR-CM-EPDM	-48	+12	-48	-3
NR-CSM-EPDM	-60	+4	-60	-14

\* BR – бутадиеновый каучук, PVC – поливинилхлорид, g-MAH – малеиновый ангидрид, CM – хлорированный каучук, CSM – хлорсульфированный полиэтилен.

EPDM-g-MAH в различных концентрациях. Другие межфазные агенты способны создавать хорошо диспергированную бинепрерывную фазу, в которой проявляются реологические свойства, очень похожие на свойства, полученные для совместимых смесей.

Интерес представляют результаты ДСК-анализа, представленные в табл. 3.

Температура стеклования ( $T_g$ ) каждого компонента в смеси указывает на температурный сдвиг: NR-BR-EPDM > NR-g-MAH-EPDM > NR-PVC-EPDM.

Причем в случае хлорированного каучука и хлорсульфированного полиэтилена детектировали только одно значение температуры  $T_g$ , что указывало на улучшенную совместимость каучуков NR и EPDM.

Из данных табл. 3 видно, что среднее значение температуры  $T_g$  чистого NR составляло -63°C и при добавлении CSM изменялось в смеси до -60°C; значение  $T_g$  для чистого EPDM составляло -37°C и изменялось в смеси до -60°C.

В работе [15] в качестве межфазного агента с каучуками из группы: CR (хлоропрен), NBR (бутадиен-нитрильный), SBR (бутадиен-стирольный) и NR (натуральный) – предложены терполимеры этилена (E)/акрилата (AC)/акриловой кислоты (AA). Установлено, что данные добавки одновременно обеспечивают лучшее распределение технического углерода в разнородных смесях эластомеров.

Использовались терполимеры E/AC/AA производства EXXON CHEMICAL Co – в частности, марок Escog ATX 350 и Escog ATX 320.

Авторы работы [16] использовали этиленпропиленовые (EP) или этиленпропилендиеновый каучуки для улучшения тепло- и озоностойкости неопреновых приводных ремней для автомобильной промышленности.

Если высоконенасыщенные эластомеры, такие как полибутадиен, в некоторых случаях могут быть эффективно совместимы с олефиновыми эластомерами, то полихлоропрен и подобные ему материалы, содержащие полярные группы вдоль цепи, имеют низкую совместимость при вулканизации. Для улучшения совместимости полярных и неполярных каучуков предложены межфазные агенты, такие как этиленметакрилат или этиленвинилацетат.

Другой подход состоял в использовании модифицированных EPDM или этиленпропиленовых каучуков, привитых с алкилметакрилатом, а в работе [17] – с функциональными группами малеиновой и сульфоновой кислот и эпоксидной группой. Применялись продукты EXXON CHEMICAL Co под торговым наименованием Exxelor VA 1801 и Exxelor VA 1803.

#### Способы вулканизации смесей EPDM

Резиновые смеси EPDM, вулканизованные с использованием пероксидов вместо серы, обладают улучшенными свойствами, такими как превосходные термостойкость, стойкость к сжатию и электроизоляционные характеристики для формованных изделий, а также повышенной стабильностью при смешивании с окрашенными веществами.

Однако если вулканизация пероксидами происходит в присутствии воздуха, то возможны поверхностные дефекты, такие как избыточная липкость, сниженная прочность или недостаточная твердость, что приводит к понижению эксплуатационных характеристик резин – низкой износостойкости (растрескиванию) и повышенному скольжению.

Авторы работы [18] предложили способ предотвращения поверхностных дефектов путем

добавления EPDM-эластомера, модифицированного силиконом. Силикон-модифицированный EPDM – это совместимая смесь EPDM и силиконовой смолы. Для этого использовали продукты марок Royaltherm® 650P и Royaltherm® 1637P, представляющие собой силикон-модифицированные EPDM-эластомеры фирмы Uniroyal Chemical Co, Inc.

В работе [19] показано, что сопротивление усталости и динамические характеристики резиновых смесей на основе EPDM можно существенно улучшить путем добавления алкоксисилановых соединений, а также диоксида кремния и/или силиката. Присутствие добавок и традиционной вулканизирующей системы (серы) обеспечивало повышенную плотность сшивки при вулканизации.

Известны различные способы решения проблемы несовместимости полиолефинового каучука с диеновым каучуком на стадии вулканизации:

- использование специальных систем вулканизации и специальных ускорителей для достижения оптимальной вулканизации обеих фаз;
- изготовление EPDM-каучука со значительно более высоким содержанием диена для его лучшей вулканизации;
- модификация EPDM-каучука с использованием различных технологий для увеличения скорости его вулканизации;
- предварительная вулканизация каучука EPDM перед смешением с ним диенового каучука.

В работе [20] показано, что сочетание органического пероксида и серы улучшает совместную вулканизацию NR и EPDM и позволяет разрабатывать смесь NR/EPDM с улучшенной озоностойкостью и физико-механическими характеристиками. Использование одной только серы в качестве вулканизирующего агента не давало удовлетворительных результатов – продемонстрировано, что в процессе вулканизации сера в основном находится в фазе NR и, как следствие, фаза EPDM остается недостаточно вулканизированной.

Известно, что молекулы органического пероксида имеют термически нестабильные кислород-кислородные связи, которые при нагревании разрываются и образуют свободные радикалы, последние могут выделять атомы водорода из полимерных цепей. Получающиеся в результате полимерные радикалы легко объединяются, образуя стабильные углерод-углеродные связи, которые значительно превосходят по энергии связи, образующиеся при вулканизации серой. Однако нагревание органического пероксида в присутствии кислорода приводит к его (пероксида) быстрому расходованию.

Авторами работы [20] показано, что совместное использование серы и органического пероксида в качестве вулканизирующих агентов дает превосходную вулканизацию смеси NR и EPDM без разложения органического пероксида даже в автоклаве в присутствии воздуха, при умеренно низкой температуре ~150°C.

Интересно, что макроструктура EPDM может оказывать влияние на процесс вулканизации. Так, авторы работы [21] предложили этиленпропилендиеновые каучуки, которые превосходно совместимы при вулканизации с сопряженными диеновыми каучуками и могут придавать последним атмосферостойкость, стойкость к озону и термическому старению без снижения механических характеристик, износостойкости и устойчивости к динамической усталости.

Этиленпропилендиеновые каучуки имели вязкость по Муни от 50 до 120 (ML 1+4 при 100°C – по ГОСТ Р 54552–2011) и содержали от 90 до 40% (по массе) высокомолекулярного EPDM, этилена – от 73 до 85% (мольн.) (характеристическая вязкость  $[\eta]$  – от 2,5 до 5,0 дл/г) и от 10 до 60% (по массе) низкомолекулярного EPDM, имеющего содержание этилена от 73 до 85% (мольн.) с характеристической вязкостью  $[\eta]$  – от 0,15 до 0,8 дл/г.

В качестве вулканизирующего агента использовалась сера.

В работе [22] показано, что смесь, сочетающая ценные свойства как олефинового каучука, так и каучука с высоким содержанием диена, может быть получена путем их совместной мастикации в присутствии вулканизирующего агента (серы) при температуре вулканизации до тех пор, пока олефиновый каучук (EPDM/EP) не будет полностью вулканизирован.

Размер частиц вулканизированного EPDM/EP является особенно важным и критическим. Необходимо, чтобы вулканизированный олефиновый сополимер присутствовал в виде дискретных частиц, а не непрерывных нитей или листов, образуя большие зоны или глобулы.

#### *Резиновые смеси специального назначения*

В работе [23] предлагается материал на основе EPDM для криогенного кабеля, обладающий высокой прочностью, устойчивостью к старению, низкотемпературными рабочими характеристиками, отличными изоляционными свойствами и огнестойкостью.

Материал включает следующие компоненты: каучук EPDM, натуральный каучук, этиленбутиеновый эластомер, порошок тонкодисперсного талька, нанометровые частицы карбоната кальция, модифицированную сверхтонкую золу для десульфурации, активный силикат кальция, модифицированный метакрилат цинка, нанометровые частицы нитрида кремния, предварительно диспергированные полые фенольные микросферы, армирующие волокна, оксид цинка, стеариновую кислоту, дикумилпероксид, серу, N,N'-метакриленбисмалеимид, дифенилметанбисмалеимид, DIPDIS (бис(диизопропил)тиофосфорилдисульфид), кумароно-инденовую смолу, APP (полифосфат аммония), ADP (адиозиндифосфат), эластомер MPE (металлоценовый полиэтилен),

N-(4-анилинофенилмалеимид) и 2-меркаптобензимидазол.

Изобретение, представленное в работе [24], относится к получению резиновых композиций, состоящих из EPDM и диенового эластомера – в частности, цис-1,4-полиизопренового каучука, который применяется для наружного слоя боковины шины. Особенностью приготовления этой композиции являлось последовательное фазовое смешение технического углерода сначала с EPDM, а затем с цис-1,4-полиизопреновым каучуком. Благодаря такому последовательному процессу смешения, технический углерод оставался в основном связанным с EPDM-каучуком и эластомерная смесь проявляла лучшие характеристики вулканизированной резины, чем при гомогенном смешивании. Полученный материал позволил существенно замедлить усталостное растрескивание резинового наружного слоя боковины шины и ее атмосферное старение.

Авторы работы [25] предложили жаропрочный материал, используемый для огнестойкого кабеля. Термостойкий материал состоял из следующих компонентов: 48–52 мас. ч. EPDM, 13–19 мас. ч. силиконового каучука, кумароновой смолы, фенольной смолы, кизельгура (осадочная горная порода), каолина, сепиолита, полиэтиленового воска, тетрафторида циркония, полиакриламида, падуба (дерево остролист), технического углерода, углеродных волокон и нанометровых частиц оксида цинка. Преимущества этого изобретения – дешевое и легкодоступное сырье, низкая себестоимость, отличная жаростойкость и длительный срок службы материала.

В работе [26] предложен уплотнительный материал из смеси фторкаучука и EPDM. Уплотнительные материалы на основе фторкаучуков имеют неудовлетворительные эластичность и морозостойкость, низкую технологичность при высокой стоимости. Показано, что использование EPDM совместно с фторкаучуком улучшает рабочие характеристики и технологичность фторматериала при низких температурах, а его стоимость снижается.

Превосходные результаты получены при использовании дисульфидной системы вулканизации, когда соотношение смешанного вулканизата FKM+EPDM составляло 3:1, а доли бисфенола AF, BPP (бензопиридопиримидин), DCP (дихлорфенол) и продукта ТАИЦ (триаллилизотианурат): 2,5; 0,4; 1,5 и 4% (по массе) соответственно. Добавление высокоактивного оксида магния (кислотного абсорбента) уменьшало деградацию макромолекул в процессе вулканизации, тем самым улучшалась эффективность вулканизата. Оптимальное количество используемого высокоактивного оксида магния составило 1,5%.

В изобретении [27] представлено получение бутилсодержащих пероксидно-вулканизуемых

соединений, в которых присутствует EPDM. Хорошо известно, что смеси, содержащие бутилкаучук (IIR) и полиизобутилен, разлагаются под действием органических пероксидов и, следовательно, необходимо присутствие промоторов вулканизации (соагентов). Обнаружилось, что каучук EPDM является промотором для IIR. Поскольку соагент по своей природе является полимерным, его выщелачивание минимально.

В работе [28] предложена смесь EPDM с силиконовым каучуком, которая имеет все преимущества силиконового каучука, однако механические и технологические свойства материала значительно улучшены. Смесь состояла из 60–70 мас. ч. EPDM, 30–40 мас. ч. силиконового каучука, оксида цинка, стеариновой кислоты, ускорителя, силового связующего агента, белой сажи, технического углерода, серы и некоторых других добавок. Авторы подчеркивают простоту приготовления и относительно низкую стоимость полученного материала.

Аналогичный материал предложен в изобретении [29]. Для совместной перекисной вулканизации силиконового каучука и EPDM скорость вулканизации последнего повышалась с помощью дифенилметанбисмалеимида.

В работе [30] предложена резина для жаропрочного резинового кольца, применяемого в корабельной технике. Смесь состояла из 100 мас. ч. EPDM, 5–8 мас. ч. оксида металла, 40–60 мас. ч. термостойкого армирующего агента, 30–60 мас. ч. термостойкого резистивного наполнителя, 3–8 мас. ч. жаропрочной системы вулканизации, 1–3 мас. ч. термостойкого стабилизатора против старения, 2–4 мас. ч. антипиренов и 10–20 мас. ч. смягчающего агента. Авторы утверждают, что предлагаемая резина обладает превосходной термостойкостью и испытана на огнестойкость при температуре  $800 \pm 50^\circ\text{C}$ . Результаты испытаний в работе не представлены.

Изобретение [31] относится к резиновому уплотнительному элементу автомобильного радиатора. Материал состоял из следующих компонентов: 100 мас. ч. EP/EPDM, 5 мас. ч. оксида цинка, 0,5–1,5 мас. ч. стеариновой кислоты, 3–6 мас. ч. стабилизатора против старения, 20–30 мас. ч. технического углерода марки N550, 10–20 мас. ч. полуармированной сажи марки N774, 3,5–7 мас. ч. вулканизирующего вспомогательного агента марки Ricon 153D и 5–8,5 мас. ч. вулканизирующего агента марки Perkadox 14-40B-GR. Резиновое изделие может использоваться в течение длительного времени в интервале температур от  $-50$  до  $+150^\circ\text{C}$  и имеет отличные деформационные характеристики при низкотемпературном сжатии. При выборе EPDM-каучука авторы обращали внимание на оптимальные дозировки этилиденнорборнена (ENB). Поскольку структура этилиденнорборнена, содержащая двойную связь, является нестабильной в условиях высоких

температур и легко разлагается, высокое содержание диена может серьезно ухудшать механические свойства при высокой температуре 150°C (изменение относительного удлинения при разрыве – до 70%).

В работе [32] смесь нитрильного каучука и EPDM использована для приготовления низкотемпературного трансформаторного уплотнительного материала с улучшенной устойчивостью к озону. Другими компонентами являлись: хлорированный полиэтилен в качестве межфазного агента, антиоксидант MB (2-меркаптобензимидазол), стеариновая кислота, парафиновый воск, пластификатор DOP (диоктилфталат), сажа марки N550, глина, связующий агент марки KH-550, бутадиен-стирольный каучук в виде гранул (High Styrene), нейтритализатор TRA (дипентаметилтиурамтетрасульфид), DCP-агент, система вулканизации и сшивающая добавка ТАИЦ.

Заявлена новая антивибрационная резина для подвески автомобильного двигателя на основе EPDM с улучшенными динамическими характеристиками, полученными при добавлении к EPDM диоксида кремния [33]. Подчеркивается, что материал обладает механическими свойствами, аналогичными свойствам натурального каучука, и может работать при температурах >120°C. Использовался EPDM без и с содержанием масла, а также серы, технического углерода, ускорителей CZ (N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид) и ТТ (тетраметилтиурамдисульфид), диоксида кремния, парафинового масла, оксида цинка, стеариновой кислоты, солнцезащитного агента марки SUN682, антиоксиданта I3C (N-фенил-N'-изопропил-p-фенилендиамин).

В работе [34] представлен теплопроводный материал из смеси метилвинилсилоконового каучука и EPDM. В рецептуре также присутствовали силановый связующий агент, пероксидный сшивающий агент, модификатор (гексаметилентетрамин), теплопроводящий наполнитель (смесь двух или трех видов оксидов (алюминия, магния, цинка) и порошка металлического алюминия) и

гидрофобная белая сажа. Изобретение применимо в автомобильной и аэрокосмической промышленности.

### Заключения

Этиленпропилендиеновые каучуки, обладая превосходной стойкостью к окислению (озон, кислород), свету, холоду и являясь биоматериалом, находят широкое применение во всех отраслях промышленности.

Совместимость EPDM с другими каучуками может быть улучшена введением межфазных агентов, а также различными приемами на стадии вулканизации – например, использованием специальных систем вулканизации и ускорителей, предварительной модификацией EPDM-каучука и т. д.

Межфазные агенты способны менять термические характеристики EPDM, повышая или понижая его температуру стеклования в смеси.

Совместное использование серы и органического пероксида в качестве вулканизирующих агентов улучшает сшивание смеси олефинового и диенового каучуков.

Установлено, что EPDM является соагентом для перекисной вулканизации бутилкаучуков.

Комбинация EPDM с другими каучуками позволяет получать материалы с разнообразным набором физико-механических и термических свойств.

Свойства и технологичность EPDM, доступность каучука на рынке и относительно низкая стоимость делают его привлекательным материалом для разработки резинотехнических изделий специального назначения.

В последние годы большинство рассмотренных изобретений резиновых смесей на основе EPDM сделаны китайскими учеными, а содержание работ направлено на создание экономичных материалов с заданными свойствами.

Описанные в работе технологические и технические приемы представляют интерес при разработке новых рецептур резиновых смесей для авиационной промышленности.

### 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технология. 2016. №2 (14). С. 16–21.
3. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. №2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
4. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
5. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.

6. Лаптев А.Б., Барботько С.Л., Николаев Е.В. Основные направления исследований сохраняемости свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
7. Грязнов В.И., Петрова Г.Н., Юрков Г.Ю., Бузник В.М. Смесевые термоэластопласты со специальными свойствами // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №1. С. 25–29. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-25-29.
8. 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.
9. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №1. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.04.2019).
10. Niels van der Aar. Introduction Lanxess. URL: <http://www.vizl.eu/cms/uploads/files/d9570e623d578b72267b0f6d29810d6f.pdf> (дата обращения: 08.04.2019).
11. Sealing Elements-Technical Handbook O-rings. The Netherlands Eriks, 2018. 256 p.
12. Jana R.N., Nando G.B. Compatibilized Blends of Low Density Polyethylene and Poly Dimethyl Siloxane Rubber: Part I: Acid and Alkali Resistance Properties // *Journal of Elastomer and Plastics*. 2002. No. 34 (4). С. 349–363.
13. Jalbert R.L. *Modern Plastics Encyclopedia*. New-York: McGraw-Hill, 1984. 841 p.
14. Abou-Helal M.O., El-Sabbagh S.H. A Study on the Compatibility of NR-EPDM Blends Using Electrical and Mechanical Techniques // *Journal of Elastomer and Plastics*. 2005. No. 37 (10). P. 319–346.
15. Compatibilization of dissimilar elastomer blends using ethylene/acrylate/acrylic acid terpolymers: pat. US 5281651A. No. 19920827772; filed 29.01.92; publ. 29.01.12.
16. Compatibilization of elastomer blends: pat. US 5352739A. No. 19920972652; filed 06.11.92; publ. 06.11.12.
17. Compatibilization of polar and nonpolar elastomer blends using functionalized ethylene/propylene copolymers or ethylene/propylene/diene terpolymers: pat. WO 1995002011A1 OMPI. No. 1993US06411; filed 07.07.93; publ. 19.01.95.
18. EPDM rubber composition: pat. US 5985970A. No. 19960688827; filed 31.07.96; publ. 16.11.99.
19. Vulcanizable EPDM rubber mixtures: pat. DE 4236218C2. No. 19924236218; filed 27.10.92; publ. 24.06.93.
20. Co-curing of NR/EPDM rubber blends: pat. US 4931508A. No. 19890418232; filed 16.11.89; publ. 05.06.90.
21. Ethylene-propylene-diene rubber, elastomer composition and vulcanized rubber thereof: pat. US 5242971A. No. 19910689930; filed 05.10.90; publ. 07.09.93.
22. Making rubber blends of diene rubber & EPR or EPDM: pat. US 4687810A. No. 19860815495; filed 02.01.86; publ. 18.08.87.
23. Aging-resistant and low-temperature-resistant EPDM (ethylene-propylene-diene monomer) rubber cable material: pat. CN 104610663A. No. 20151021562; filed 15.01.15; publ. 13.05.15.
24. Preparation of rubber composition comprised of EPDM/polyisoprene rubber blends and tire with sidewall comprised thereof: pat. US 7423089B2. No. 20050249866; filed 13.10.05; publ. 19.04.07.
25. High-temperature-resistant material used for fireproof cable: pat. CN 108164836A. No. 201711209242; filed 27.11.17; publ. 15.06.18.
26. Fluororubber/ethylene propylene diene monomer (EPDM) sealing material: pat. CN 108164886A. No. 201611117996; filed 07.12.16; publ. 15.06.18.
27. Peroxide curable butyl formulations for rubber articles: pat. US 20060122317A. No. 20040005174; filed 06.12.04; publ. 08.06.06.
28. Silicon rubber and EPDM mixed rubber and preparation method thereof: pat. CN 102061038A. No. 201010594134; filed 18.10.10; publ. 18.05.11.
29. Silicon rubber/ethylene propylene terpolymer blending material and processing method: pat. CN 102775686A. No. 20121233193; filed 06.07.12; publ. 14.11.12.
30. EPDM rubber: pat. CN 107057195A. No. 201611208144; filed 23.12.2016; publ. 18.08.2017.
31. Ethylene propylene rubber material for sealing part of automobile heat dissipation system and production method of ethylene propylene rubber material: pat. CN 107090133A. No. 201710492764; filed 23.06.17; publ. 25.08.17.
32. Nitrile rubber is used for low temperature seal of ozone / EPDM: pat. CN 102260380A. No. 20111189885; filed 07.07.11; publ. 30.11.11.
33. Rubber compound for car engine mount enhanced dynamic characteristics by mixing epdm with silica: pat. KR 101280838B1. No. 20110043756; filed 11.05.11; publ. 21.11.12.
34. Silicon rubber-ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber blend thermal conductive composite material and preparation method thereof: pat. CN 101817981A. No. 20101180632; filed 21.05.10; publ. 01.09.10.