

## Динамически вулканизированные эластопласты на основе технологически совместимого рандом полипропилена и бутадиен-нитрильного каучука

### Dynamically vulcanized elastoplastics based on the technologically compatible random polypropylene and butadiene-nitrile rubber

*H.T. KAKHRAMANOV, A.D. GULIEV, V.S. OSIPCHIK\**

*N.T. KAKHRAMANOV, A.D. GULIEV, V.S. OSIPCHIK\**

Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана, г.Сумгайыт

\*Российский химико-технологический университет им.Д.И. Менделеева, г.Москва

Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences

\* Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev

najaf1946@rambler.ru

Рассмотрены основные физико-механические свойства динамически вулканизированных эластопластов на основе рандом полипропилена и бутадиен-нитрильного каучука. Показано, что чем больше концентрация нитрильных групп в бутадиен-нитрильном каучуке, тем при более высокой предельной концентрации эластомера начинают проявляться резиноподобные свойства в эластопластах. С целью улучшения совместимости компонентов смеси в качестве компатибилизатора использовали привитой сополимер полипропилена с метакриловой кислотой. В отличие от серной вулканизации пероксидная способствует существенному ухудшению показателя текучести расплава эластопластов.

*Ключевые слова:* динамические эластопласты, вулканизация, разрушающее напряжение, теплостойкость, гель-фракция, рандом полипропилен.

The basic physicomachanical properties of dynamically vulcanized elastoplastics based on random polypropylene and nitrile butadiene rubber are considered. It is shown that the higher the concentration of nitrile groups in the nitrile-butadiene rubber, the higher the limiting concentration of the elastomer to appear rubber-like properties in elastoplastics. In order to improve the compatibility of the components of the mixture, a graft copolymer of polypropylene with methacrylic acid was used as a compatibilizer. In contrast to sulfuric vulcanization, peroxide one contributes to a significant deterioration of the melt flow index of elastoplastics.

*Keywords:* dynamic elastoplastics, vulcanizing, ultimate tensile stress, heat resistance, gel-fraction, random polypropylene

DOI: 10.35164/0554-2901-2019-11-12-30-33

Стратегия создания многокомпонентных композитных материалов направлена не только на совершенствование методов модификации полимеров, но и на разработку высококачественных материалов с заранее заданными эксплуатационными характеристиками [1–3]. В этом отношении наиболее предпочтительными являются полимер-полимерные смеси, конечные свойства которых зависят от их технологической совместимости, т.е. способности к смешению в режиме расплава. За последние годы значительный интерес стали представлять динамически вулканизированные термоэластопласты на основе несовместимых полимерных компонентов [4]. С целью улучшения технологической совместимости подобных смесей в их состав вводится компатибилизатор. Благодаря ценному комплексу свойств термоэластопласты, полученные на основе несовместимых полимерных смесей, пользуются большим спросом. Еще большую перспективу открывают динамически вулканизированные термоэластопласты [4]. Открываются широкие возможности получения на их основе высококачественных конструкционных материалов, удовлетворяющих значительно возросшим требованиям машиностроения, авиационной, автомобильной, космической, военной, военно-космической техники и технологии. Поэтому при разработке подобного типа полимерных материалов представляется потенциальная возможность в допустимых пределах сочетать в них полезные качества каждого из компонентов смеси. При выборе полярного эластомера в качестве компонента в смеси ориентировались на заметное улучшение прочности и масло-бензостойкости динамических вулканизатов на основе эластопластов [5–7].

В связи с этим, целью данной работы являлась разработка динамически вулканизированных эластопластов с высокими физико-механическими свойствами.

#### *Экспериментальная часть*

В качестве полимерных объектов исследования использовали рандом полипропилен (РПП), бутадиен-нитрильный каучук (СКН-18, СКН-26 и СКН-40).

Рандом полипропилен (РПП) или термопластичный статистический сополимер этилена с пропиленом экструзионной марки RP2400. РПП характеризуется следующими свойствами: разрушающее напряжение – 28,5 МПа, относительное удлинение – 600%, ПТР = 1,78 г/10 мин., плотность – 0,904 г/см<sup>3</sup>, температура плавления – 146°C, теплостойкость – 131°C.

СКН – бутадиен-нитрильный каучук с различным содержанием нитрила акриловой кислоты (СКН-18, СКН-26 и СКН-40).

Элементарная сера существует в виде нескольких аллотропических модификаций, наиболее устойчивая из которых – ромбическая сера, имеющая вид желтых прозрачных кристаллов. Атомы серы в ромбической модификации организованы в восьмичленные симметричные циклы, имеющие коронидальную структуру. Все атомы серы в цикле соединены двойной связью с соседними атомами (валентность каждого атома серы равна 4). При температуре около 140°C π-связи разрываются и молекула серы становится активной, цикл способен легко раскрыться с образованием двух радикальных центров на концах цепи.

Пероксид бензоила (ПД) – светло-желтый порошок с  $T_{пл} = 40^\circ\text{C}$ , предназначен для получения сшитых структур в полимерных смесях.

С целью улучшения смешиваемости и технологической совместимости СКН с РПП использовали компатибилизатор, представляющий собой привитой сополимер ПП с метакриловой кислотой – (ППМАК). Синтез ППМАК проводили в 5% масс. растворе ПП в ксилоле при температуре 125–130°C в течение двух часов. В процессе комплексно-радикальной привитой сополимеризации

ПП с метакриловой кислотой использовали иницирующую систему перекись-амин. После реакции привитой сополимеризации полимерный раствор в горячем виде осаждали в изопропиловом спирте, отфильтровывали и сушили в вакуумном сушильном шкафу при 70–80°C в течение двух часов. Концентрацию привитого компонента (МАК) в составе ПЭВП определяли по разработанной нами методике ИК-спектрального анализа [8]. Для испытания был отобран компатибилизатор ППМАК, в котором содержание привитого МАК составляло 19% масс.

Смешение полимерных смесей осуществляли на фрикционных вальцах при температуре 170°C. После расплавления РПП вводили компатибилизатор ППМАК в количестве 5% масс. После этого в этот расплав вводили СКН и далее серу или пероксид дикумила, которые смешивали в общей сложности в течение 10–12 минут.

Показатель текучести расплава (ПТР) полимерных композиций определяли на реометре марки CEAST MF50 (INSTRON, Италия) при температуре 190°C и нагрузке 5 кг.

Теплостойкость определяли по методу Вика.

Физико-механические характеристики определяли по стандартным методикам: разрушающее напряжение ( $\sigma_p$ ), предел текучести при растяжении ( $\sigma_T$ ) и относительное удлинение ( $\epsilon$ ) определяли в соответствии с ГОСТ 11262-80.

#### Результаты и их обсуждение

Перед тем как приступить к исследованию свойств динамически вулканизованных нанокмозитов, представлялось интересным осуществить поэтапный подход к изучению этих систем: 1) изучение влияния соотношения компонентов РПП-СКН на прочностные свойства; 2) выбор соотношения компонентов, при котором полимерная смесь проявляет эластопластические свойства, т.е. обладает свойствами резины, а перерабатывается как пластмасса. Следует также учесть, что при получении полимерных смесей во всех случаях в их состав вводили компатибилизатор – ППМАК, который, как было отмечено выше, способствовал улучшению технологической совместимости РПП с СКН. В образцах, содержащих СКН-18 и СКН-26, концентрация ППМАК в смеси составляла 5% масс, а в образцах, содержащих СКН-40, концентрация ППМАК составляла 7% масс. Повышение концентрации ППМАК в полимерной смеси РПП + СКН-40 интерпретируется тем, что с увеличением концентрации нитрильных групп в СКН и, соответственно, полярности эластомера, требуется сравнительно большее количество компатибилизатора для поддержания их технологической совместимости с РПП.

В таблице 1 приводятся результаты исследования влияния соотношения полимерных компонентов в смеси РПП + СКН + ППМАК, а также концентрации нитрильных групп в составе СКН на основные физико-механические свойства композиционных материалов. В задачу исследования входило выявить оптимальные соотношения компонентов в смеси, при которых композиционные материалы характеризуются не только достаточно хорошей технологической совместимостью, но и достаточно высокими прочностными и технологическими свойствами. Анализируя данные, приведенные в таблице 1, можно установить, что содержание нитрильных групп в составе СКН оказывает большое влияние на совместимость по-

лимерных компонентов, а также на минимальную концентрацию эластомера, при которой проявляются свойства материала, характерные для резин. Эластопластические свойства в композиции проявляются при таком содержании эластомера, при котором значение предела текучести при растяжении становится равным разрушающему напряжению, т.е. область пластической деформации сменяется на высокоэластическую, свойственную для резин [9, 10]. Как видно из этой таблицы, при прочих равных условиях эта область высокоэластической деформации формируется в зависимости от марки СКН. Так, например, если для смеси РПП + СКН-18 минимальная концентрация эластомера, при которой в материале формируются эластопластические свойства, составляет 30% масс., то в смеси РПП + СКН-26 и РПП + СКН-40 – соответственно 35 и 40% масс. По всей видимости, в данном случае полярность эластомерного компонента оказывает заметное влияние на характер формирования структуры полимерной смеси, при которой пластическая деформация образца сменяется на высокоэластическую, характерную для резин. Во всех случаях с увеличением концентрации СКН наблюдалось заметное снижение прочностных свойств композиционных материалов. Характерно, что, чем выше было содержание нитрильных групп в составе СКН, тем в большей степени она влияла на снижение величин  $\sigma_p$  и  $\sigma_T$ .

Во всех исследуемых образцах в качестве компатибилизатора использовали ППМАК, так как в противном случае полимерную композицию с равномерно диспергированной эластомерной компонентой получить в смеси не представлялось возможным, т.е. происходило расслоение образцов с последующим резким ухудшением прочностных свойств.

Согласно данным, представленным в таблице 1, введение СКН в состав РПП неоднозначным образом сказывалось на изменении свойств. Так, например, увеличение концентрации СКН в расплаве РПП сопровождается заметным снижением прочности, относительного удлинения, теплостойкости и ПТР образцов. По-видимому, для интерпретации обнаруженных закономерностей будет правильно с самого начала исходить из предположения о том, что смешение полярных и неполярных полимерных компонентов всегда сопровождается формированием двухфазной системы. При этом дисперсной средой является РПП, а дисперсной фазой – СКН. Использование компатибилизатора позволяет существенным образом повлиять на увеличение адгезионного контакта в граничной области. Механизм действия компатибилизатора, в данном случае ППМАК, проявляется в том, что основная полипропиленовая макроцепь встраивается в дисперсную среду РПП, а привитые макроцепи МАК – в дисперсную фазу, сформированную макромолекулами СКН. Наиболее отчетливо этот факт проиллюстрирован на рис. 1, где приводится схематическое изображение граничной области в системе РПП-СКН.

Анализируя этот рисунок, можно установить, что привитые цепи (ПМАК) встраиваются в дисперсную фазу СКН (2), а промежутки между привитыми цепями в виде петлеобразных макроотрезков РПП располагаются в дисперсной среде РПП. В граничной области расположен привитой сополимер ППМАК (3). Таким образом, граничная межфазная область характеризуется как связующая зона

Таблица 1. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе смеси РПП + СКН в присутствии 5–7% масс. ППМАК.

№	Состав композиции, % масс.	Разрушающее напряжение $\sigma_p$	Предел текучести при растяжении $\sigma_T$	Относительное удлинение, %	ПТР г/10 мин	Теплостойкость, °С
1	РПП	28,5	30,2	255	1,78	131
2	90 РПП + 10 СКН-18	24,7	26,6	250	1,51	120
3	80 РПП + 20 СКН-18	18,4	20,3	125	1,17	118
4	70 РПП + 30 СКН-18	14,6	14,6	85	0,89	95
5	65 РПП + 35 СКН-18	12,8	12,8	60	0,76	95
6	60 РПП + 40 СКН-18	11,3	11,3	35	0,61	85
7	90 РПП + 10 СКН-26	24,1	26,1	240	1,49	122
8	80 РПП + 20 СКН-26	17,8	18,7	115	1,07	117
9	70 РПП + 30 СКН-26	13,5	13,8	70	0,81	98
10	65 РПП + 35 СКН-26	12,0	12,0	65	0,70	96
11	60 РПП + 40 СКН-26	10,9	10,9	35	0,57	88
12	90 РПП + 10 СКН-40	24,0	26,0	215	1,52	122
13	80 РПП + 20 СКН-40	17,2	18,6	120	0,98	119
14	70 РПП + 30 СКН-40	12,8	13,4	70	0,83	101
15	65 РПП + 35 СКН-40	11,3	11,6	50	0,67	100
16	60 РПП + 40 СКН-40	10,1	10,1	25	0,54	92

контакта несовместимых полимерных систем. Адгезионный слой (темный фон), образованный привитыми цепями ПМАК в граничной области СКН, собственно, и предопределяет прочность связи в зоне контакта РПП–СКН. Именно от эффективности действия компатибилизатора в межфазной области во многом зависит технологическая совместимость и конечные свойства композиционного материала.

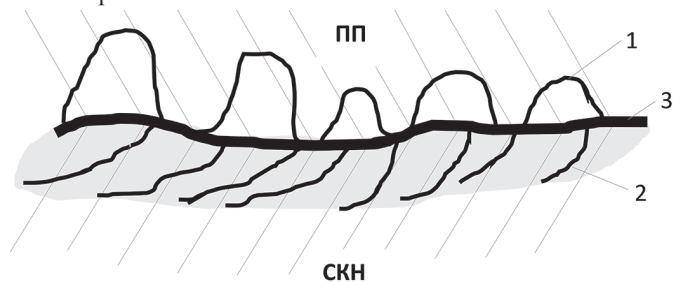


Рис. 1. Схематическое изображение влияния ППМАК на процесс формирования совместимости РПП и СКН в межфазной области: 1 – макроsegment ПП; 2 – привитая цепь ПМАК; 3 – привитый сополимер ППМАК.

Представлялось интересным выяснить, каким образом сшивающие агенты могут повлиять на характер изменения физико-механических свойств эластопластов. В качестве инициатора использовали пероксид дикумила и серу. Важно было подобрать концентрацию инициатора таким образом, чтобы процесс сшивки протекал преимущественно в дисперсной фазе, состоящей из эластомерной компоненты. Именно такой подход к проведению сшивки позволял говорить о динамической вулканизации эластопластов. Процесс сшивки с использованием пероксида дикумила в основном направлен на формирование пространственной структуры с образованием радикалов по таким уязвимым местам в макроцепях СКН, как концевые и внутренние двойные связи, водородные атомы, расположенные в  $\alpha$ -положении от двойных связей. Эти потенциальные «мишени» для пероксидных радикалов имеются

Таблица 2. Физико-механические свойства динамически вулканизированных ПД эластопластов РПП+40% масс.СКН в присутствии 5-8% масс. ППМАК.

№	Содержание ПД в составе смеси РПП + 40% масс. СКН, % масс.	Разрушающее напряжение $\sigma$	Относительное удлинение, %	ПТР, г/10 мин	Теплостойкость, °С	Гель-фракция, % масс.
1	РПП-СКН-18 + 0,25 ПД	14,9	65	0,55	89	4,4
2	РПП-СКН-18 + 0,5 ПД	20,5	105	0,35	97	28,6
3	РПП-СКН-18 + 0,75 ПД	20,8	180	0,11	112	31,4
4	РПП-СКН-18 + 1,0 ПД	18,6	125	–	121	42,2
5	РПП-СКН-18 + 1,5 ПД	17,0	90	–	129	53,5
6	РПП-СКН-18 + 2,0 ПД	15,2	35	–	138	64,7
7	РПП-СКН-26 + 0,25 ПД	15,0	60	0,49	92	5,2
8	РПП-СКН-26 + 0,5 ПД	18,9	110	0,28	101	27,8
9	РПП-СКН-26 + 0,75 ПД	19,5	200	0,09	115	32,1
10	РПП-СКН-26 + 1,0 ПД	18,0	145	–	127	41,3
11	РПП-СКН-26 + 1,5 ПД	16,5	105	–	135	55,0
12	РПП-СКН-26 + 2,0 ПД	11,7	30	–	143	66,1
13	РПП-СКН-40 + 0,25 ПД	14,2	50	0,38	97	4,8
14	РПП-СКН-40 + 0,5 ПД	19,4	95	0,21	109	28,0
15	РПП-СКН-40 + 0,75 ПД	18,5	170	0,02	122	33,6
16	РПП-СКН-40 + 1,0 ПД	18,1	195	–	133	42,8
17	РПП-СКН-40 + 1,5 ПД	15,7	95	–	139	55,7
18	РПП-СКН-40 + 2,0 ПД	10,3	25	–	152	65,3

Таблица 3. Физико-механические свойства динамически вулканизированных серой эластопластов РПП + 40% масс. СКН в присутствии 5-8% масс. ППМАК.

№	Содержание серы в составе смеси РПП + 40% масс. СКН, % масс.	Разрушающее напряжение $\sigma$	Относительное удлинение, %	ПТР, г/10 мин	Теплостойкость, °С	Гель-фракция, % масс.
1	РПП-СКН-18 + 1,0 S	12,9	95	0,59	85	1,3
2	РПП-СКН-18 + 3,0 S	15,5	155	0,48	89	12,7
3	РПП-СКН-18 + 5,0 S	17,8	190	0,33	92	17,5
4	РПП-СКН-18 + 7,0 S	17,6	225	0,24	96	19,9
5	РПП-СКН-26 + 1,0 S	12,4	100	0,54	89	1,2
6	РПП-СКН-26 + 3,0 S	16,9	175	0,50	93	14,4
7	РПП-СКН-26 + 5,0 S	19,5	200	0,35	96	18,6
8	РПП-СКН-26 + 7,0 S	18,8	215	0,22	99	21,2
9	РПП-СКН-40 + 1,0 S	12,0	90	0,51	92	1,2
10	РПП-СКН-40 + 3,0 S	16,2	135	0,32	97	15,0
11	РПП-СКН-40 + 5,0 S	20,1	185	0,22	102	19,8
12	РПП-СКН-40 + 7,0 S	19,8	210	0,15	105	22,7

в достаточном количестве в структуре СКН. Для РПП наиболее уязвимыми являются третичные атомы углерода в пропиленовых звеньях. Поэтому при использовании ПД их содержание варьировали таким образом, чтобы предопределить их оптимально допустимую для этой цели концентрацию. При очень низких концентрациях ПД ее действие может оказаться недостаточным для динамической вулканизации эластопластов. В то же время, избыток ПД может способствовать протеканию сшивки по всей массе полимерной смеси, включая макроцепи РПП, с образованием густосетчатой жесткой структуры, которая, как правило, способствует ухудшению основных физико-механических характеристик. Исходя из вышеизложенного, для выбора оптимальной концентрации вулканизирующего агента его содержание варьировали в широком диапазоне, в пределах 0,25–2,0% масс. Результаты исследования сшитых эластопластов представлены в таблице 2. Из приведенных в таблице 2 экспериментальных данных можно установить, что концентрация сшивающего агента оказывает существенное влияние на физико-механические свойства эластопластов. При этом в качестве объекта исследования использовали композиции РПП с 40% масс. содержанием СКН-18, СКН-26 и СКН-40. Как было показано выше, это та концентрация СКН, при которой полимерная смесь обладает свойствами эластопласта. Анализируя данные в таблице 2, можно заметить, что, независимо от типа СКН, с увеличением концентрации ПД от 0,25 до 2,0% масс. разрушающее напряжение и относительное удлинение образцов изменяются по определенной закономерности с максимумом при 0,5–0,75% масс. содержания сшивающего агента. Дальнейшее повышение концентрации ПД сопровождается монотонным снижением разрушающего напряжения и относительного удлинения вулканизатов при полном отсутствии текучести расплава вулканизатов. Установлено также, что с ростом концентрации ПД увеличивается содержание гель-фракции в образцах. При 2,0% масс. содержании ПД максимальное значение гель-фракции изменяется в пределах 64,7–66,1% масс. Что касается теплостойкости вулканизатов, то, независимо от типа СКН, с ростом концентрации ПД ее значение непрерывно

возрастает. При этом по мере перехода от СКН-18, СКН-26 до СКН-40 максимальная теплостойкость вулканизатов соответственно увеличивается от 138 до 152°C. Повышение теплостойкости является результатом образования густосетчатой сшитой структуры эластопласта. Как и следовало ожидать, с увеличением концентрации ПД ПТР вулканизатов резко снижается вплоть до нулевого значения. Так, например, при 1,0% масс. содержании ПД и выше образцы вулканизатов практически полностью теряют способность к течению, т.е. ПТР равен нулю. Нулевое значение ПТР образцов свидетельствует о невозможности их переработки методами литья под давлением и экструзии. Поэтому считали, что оптимальной концентрацией ПД, при которой расплав вулканизата еще обладает способностью к переработке, является 0,5–0,75% масс. При такой концентрации ПД образуется редкосетчатая сшитая структура, которая преимущественно формируется по месту разрыва двойных связей СКН. Это обстоятельство, собственно, и свидетельствует о получении динамически вулканизованных эластопластов, в которых дисперсная фаза представлена в виде сшитых структурных единиц. При более высокой концентрации ПД сшивка происходит по всему объему образца, включая не только дисперсную фазу, но и дисперсную среду полимерной матрицы (РПП). В этом случае образуется плотно сшитая пространственная структура, способствующая ухудшению свойств конечного материала.

Проводимые интенсивные исследования по процессу вулканизации полимерных систем с использованием различных типов вулканизирующих агентов показали значительный удельный вес и эффективность серной вулканизации.

В отличие от ПД, серная вулканизация в корне отличается от пероксидной, и объясняется это тем, что в этом случае процесс сшивки протекает в более мягком режиме преимущественно по  $\alpha$ -метиленовым и двойным связям полимерных компонентов. Принимая во внимание, что концентрация двойных связей в СКН многократно выше, чем у РПП, вероятнее всего, сшивка будет протекать преимущественно в эластомерной фазе.

Процесс вулканизации начинается с образования радикальной частицы в результате разрыва циклической молекулы серы. Радикальная частица взаимодействует с молекулой каучука, атакуя его преимущественно по  $\alpha$ -метиленовому водороду. После отрыва водорода от молекулы каучука остается макромолекула каучука с радикальным центром и радикал  $\text{HS}8^\bullet$ . Тиорадикал может атаковать очередную молекулу каучука, но более вероятно его присоединение по двойной связи очередной макромолекулы. Макромолекула с радикальным центром атакует неактивную макромолекулу каучука с образованием поперечной связи. Радикальный центр перемещается за счет  $\pi$ -электронов двойной связи и обеспечивает атаку очередной макромолекулы или нейтральной молекулы серы. Реакция имеет цепной механизм, ее скорость зависит как от стерических препятствий атаки радикальных частиц, так и от кинетики образования первых радикальных частиц [11].

В таблице 3 приводятся результаты исследования влияния серной вулканизации на изменение физико-механических свойств динамически вулканизованных эластопластов на основе РПП и СКН различных марок. Из сопоставительного анализа данных, приведенных в этой таблице, можно заметить, что, в отличие от ПД, серная вулканизация в определенной степени способствует постоянному улучшению свойств вулканизатов. Так, например, с увеличением концентрации серы от 1,0 до 7,0% масс. разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение и теплостойкость имеют характерную тенденцию к росту. Однако значения прочности, теплостойкости и содержания гель-фракции у серных вулканизатов несколько ниже, чем у пероксидных. Сравнительно низкое содержание гель-фракции можно интерпретировать, с одной стороны, образованием сшитой пространственной

структуры со сравнительно меньшей частотой поперечных связей, а с другой – вместо жесткой С–С связи образуется более гибкая С–S8–С связь. Этим, собственно, и объясняется, что все рассматриваемые серные вулканизаты обладают способностью к сравнительно большим деформациям, к течению, т.е. могут перерабатываться как обычные термопласты.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно констатировать, что с целью улучшения совместимости полярного СКН с неполярным РПП в качестве компатибилизатора использовали привитой сополимер полипропилена с метакриловой кислотой (ППМАК). Свойства резины в полимерных смесях на основе РПП + СКН проявляются в композициях, содержащих не менее 30–40% масс. СКН. Чем больше концентрация нитрильных групп в СКН, тем при более высокой предельной концентрации эластомера достигаются эластопластические свойства в композиции РПП + СКН.

Для получения динамически вулканизованных эластопластов последние подвергали сшиванию с использованием пероксидной и серной вулканизации. В отличие от серной вулканизации, пероксидная способствует существенному снижению ПТР эластопластов.

### Литература

1. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошман В.Г. Принципы создания композиционных материалов. М.: Химия, 1990. 240 с.
2. Нгуен Минь Туан, Чалая Н.М., Осипчик В.С. Структура и физико-механические свойства смесей полипропилена и металлоценового этиленпропиленового эластомера. // Пластические массы, 2017, №9–10, с.12–16.
3. Симонов-Емельянов И.Д. Принципы создания и переработки композиционных материалов дисперсной структуры. // Пластические массы, 2005, №1, с.11–16.
4. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты: получение, переработка, свойства. М: Наука, 2004, 173 с.
5. Кравченко Т.П., Ермаков С.Н., Кербер М.Л. и др. Научно-технические проблемы получения композиционных материалов на основе конструкционных термопластов// Пластические массы, 2010, №10, с.32–37.
6. Нестеров А.Е., Лебедев Е.В. Модификация полимеров полимерными добавками // Успехи химии, 1989, т. LVIII, вып. 8, С. 1384–1403.
7. Кахраманлы Ю.Н. Несовместимые полимерные смеси и композиционные материалы на их основе/ Баку: Элм, 2013, 152 с.
8. Кахраманов Н.Т. ИК-спектральный анализ структуры привитых сополимеров ПЭ с акриловыми мономерами. // Азербайджанский химич. журн., 2004, №2, с.156–158.
9. Помогайло А.Д. Молекулярные полимер-полимерные композиции. Синтетические аспекты. // Успехи химии, 2002, 71, №1, с. 5–38.
10. Кахраманов Н.Т., Гусейнова З.Н., Осипчик В.С. Влияние технологических параметров литья под давлением на физико-механические свойства динамических эластопластов на основе полиолефинов и бутадиен-нитрильного каучука.// Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019, №1, с.14–20.
11. [http://www.chemfive.info/news/sernaja\\_vulkanizacija\\_kauchukov/2015-05-26-540](http://www.chemfive.info/news/sernaja_vulkanizacija_kauchukov/2015-05-26-540).