

Физико-механические свойства органо-неорганических гибридных гелей на основе талька и модифицированного полиэтилена низкой плотности

Physicomechanical properties of organic-inorganic hybrid gels based on talc and modified low density polyethylene

P. B. КУРБАНОВА

R. V. KURBANOVA

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана
Azerbaijan State University of Oil and Industry
Institute of Polymer Materials of the Azerbaijan National Academy of Science

najaf1946@rambler.ru

Приводятся результаты исследования влияния аппретированного кремнийорганическими соединениями талька на физико-механические свойства нанокомпозитов на основе полиэтилена низкой плотности и привитого сополимера полиэтилена низкой плотности с малеиновым ангидридом. Исследуются разрушающее напряжение, предел текучести при растяжении, относительное удлинение, теплостойкость по Вика, показатель текучести расплава и температура плавления нанокомпозитов. Для сопоставительной оценки свойств приводятся результаты исследования композитов на основе привитого сополимера и грубодисперсного талька.

Ключевые слова: аппрет, модификация, межфазная область, нанокомпозит, тальк, фазовый переход

The results of a study of the effect of talc dressed with organosilicon compounds on the physicomechanical properties of nanocomposites based on low-density polyethylene and a grafted copolymer of low-density polyethylene with maleic anhydride are presented. The ultimate tensile stress, tensile yield strength, elongation at break, Vicat softening temperature, melt flow index and the melting point of nanocomposites are studied. For a comparative assessment of the properties, the results of a study of composites based on a grafted copolymer and coarsely dispersed talc are given.

Keywords: dressings, modification, interfacial area, nanocomposite, talc, phase change

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-19-22

Благодаря своим высоким физико-механическим и технологическим характеристикам полимерные материалы находят все большее применение в различных областях промышленности: машиностроительной, судостроительной, авиационной, космической, военной, бытовой и других областях техники. Однако практика показывает, что по мере совершенствования техники и технологии в вышеперечисленных областях промышленности возрастает комплекс жестких требований к эксплуатационным характеристикам полимерных материалов. В связи с этим используются различные приемы модификации полимеров путем введения стабилизаторов, пластификаторов, минеральных и полимерных наполнителей, смещения различных по полярности полимеров, физическая и химическая сшивка и т.д., позволяющие разработать на их основе новые типы конструкционных полимерных материалов с заранее заданной структурой и свойствами [1–5].

За последние годы значительно повысился интерес ученых к проблеме улучшения совместности полимерно-минеральных композитных систем, которое наиболее эффективно осуществляется путем аппретирования минеральных наполнителей кремнийорганическими соединениями. В этом случае представлялось возможным достигнуть формирования ковалентной связи между гидроксильными группами силанов и природных минералов [6–8]. Долгое время решение этой проблемы и полученные экспериментальные данные нуждались в достаточно надежной теоретической интерпретации и разработке научных положений, основательно трактующих причинно-следственную связь структура–состав–свойства. В ранее проводимых работах в этом направлении нам в определенной степени удалось систематизировать исследование в этой области и тем самым дополнить существующие научные положения по разработке полимерно-неорганических гибридных гелей [5, 6].

В связи с этим в данной работе нами показана новая возможность заметного улучшения физико-механических свойств органо-минеральных гибридных гелей на примере полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и нанодисперсного талька.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) и функционализированный ПЭНП, представляющий собой привитой сополимер полиэтилена с малеиновым ангидридом (ПЭМА). Концентрация малеинового ангидрида в составе ПЭМА составляла 5,6% масс. ПЭМА получали в процессе механо-химического синтеза методом экструзии. Прививка малеинового ангидрида осуществлялась преимущественно по наиболее уязвимым концевым, α -метиленовым и трансвиниленовым двойным связям, а также по месту разрыва макроцепей по $-C-S-$ связи в процессе термомеханического воздействия в процессе реакционной экструзии.

Использовали ПЭНП со следующими свойствами: показатель текучести расплава (ПТР) ПЭНП равен 3,3 г/10 мин. при температуре 190°C и нагрузке 5 кг, разрушающее напряжение $\sigma_p = 14,3$ МПа, относительное удлинение – 525%, прочность на статический изгиб $\sigma_{из} = 11,6$ МПа, плотность – 923 кг/м³.

Тальк – $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ – минерал из класса силикатов. Это кристаллическое вещество, представляющее собой жирный на ощупь рассыпчатый порошок белого цвета. Качество талька определяется его белизной. Наночастицы талька характеризовались размером в области 64–110 нм. Использовали также относительно грубодисперсный тальк с размером частиц в пределах 1–2 мкм.

Перед тем как наночастицы талька вводили в состав сополимера этилена с МА (ПЭМА), наполнитель подвергали аппретированию при температуре 90°C в подкисленной HCl (pH = 3,5) дистилли-

рованной воде в присутствии кремнийорганического соединения АГМ-9 (γ -аминопропилтриэтоксисилан) – $\text{H}_2\text{NC}_3\text{H}_6\text{-Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ в течение 8 ч. В результате алкоксидного метода золь-гель синтеза между гидроксильными группами молекул АГМ-9 и талька на поверхности наночастиц формировался в виде «паутины» тонкий монослой шитой структуры кремнийорганического соединения.

Аппретированные наночастицы талька вводили в расплав ПЭМА на вальцах при температуре 170°C в течение 10 мин. В результате механо-химического синтеза между макроцепями ПЭМА и аппретированным тальком формировалась ковалентная связь ПЭМА-O-Si-O-Me- , между молекулами аппрета -O-Si-O-Si-O- с образованием шитой структуры. Таким образом, в результате образования смешанных ковалентных связей были сформированы химически шитые структуры – гибридные гели.

Количество образовавшейся гель-фракции определяли на приборе Сокслета путем промывки аппретированных наночастиц талька в кипяченой воде в течение 3 ч. Содержание гель-фракции изменялось в пределах 12–15% масс.

Для исследования физико-механических свойств полимерных нанокомпозитов их подвергали прессованию при температуре 190°C . Из прессованных пластин вырубали образцы для определения разрушающего напряжения, относительного удлинения, прочности на изгиб наполненных композитов.

Разрушающее напряжение и относительное удлинение определяли в соответствии с ГОСТ 11262-80. Прочность при изгибе определяли в соответствии с ГОСТ 9550-81.

Теплостойкость определяли по методу Вика.

Показатель текучести расплава определяли на капиллярном реометре Melt Flow Tester, CEAST MF50 (Instron, Италия) в температурном диапазоне расплава 190°C и при нагрузке 5,0 кг.

Результаты и их обсуждение

Стало уже очевидно, что для получения композитных материалов с высокими физико-механическими свойствами необходимо в первую очередь достигнуть химического связывания частиц наполнителя с полимерной матрицей. Это самый эффективный способ модификации, при котором не только обеспечивается равномерное диспергирование частиц наполнителя в объеме полимерной матрицы, но и предотвращается возможность их агломерации с последующим ухудшением свойств. Наряду с этим, существование ковалентной связи между макромолекулой и атомами металлов на поверхности частиц наполнителя способствует предотвращению вероятности их вынужденной миграции на поверхность полимерного изделия в процессе переработки и эксплуатации в жестких экстремальных условиях.

Одним из малоизученных и в то же время востребованных способов получения минерально-полимерных композитов является аппретирование частиц наполнителя кремний-органическими соединениями. Ранее нами в работах [5, 6] на примере различных минералов подробно был рассмотрен механизм их аппретирования и формирования органо-неорганических гибридных гелей. Весь процесс получения гибридных гелей протекает в два этапа. Первый этап включает в себя процесс гидролиза и дегидратации с образованием аппретированного минерального наполнителя. Второй этап заключается в экструзионном процессе механохимического синтеза композитного материала в результате смешения аппретированного наполнителя с полимерной основой (ПЭМА). В процессе термомеханического воздействия происходит взаимодействие малеинового ангидрида с гидроксильными группами аппрета и частиц талька с образованием смешанного типа редкосетчатых шитых структур. По-видимому, в процессе дегидратации гидроксильных групп химические связи образуются между аппретом и частицами наполнителя, аппретом и аппретом, полимерной основой и аппретом, полимерной основой и частицами наполнителя. На рис. 1 приводится схематическое изображение возможных вариантов формирования ковалентной связи между малеиновым ангидридом в сополимере и гидроксильными группами аппрета и частиц наполнителя. Как видно из этого рисунка, после аппретирования на поверхности частицы наполнителя образуется монослой, который подобно паутине обволакивает поверхность частицы. Процесс аппретирования сопровождается протеканием золь-гель реакции, которая в результате гидролиза и дегидратации по гидроксильным

группам приводит к образованию шитой структуры не только на поверхности раздела частица-аппрет, но и между аппретированными частицами с образованием своеобразных «кластеров» (рис. 1).

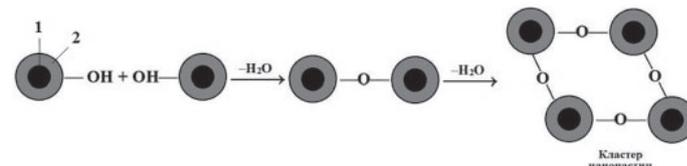


Рис. 1. Схематическое изображение взаимодействия аппретированных наночастиц талька с образованием шитых структур кластеров, где 1 – наночастица, 2 – монослой аппрета.

Следует отметить, что в результате механо-химического синтеза присоединение МА к макроцепи возможно в двух вариантах (рис. 2). Если присоединение МА к макроцепи происходит у третичных углеродных атомов или по α -метилновым углеродным атомам, то в этом случае имеет место 1-й вариант механизма прививки. В том случае, если присоединение происходит по месту разрыва концевых или трансвиниловых двойных связей в макроцепи ПЭМП, то тогда наиболее вероятен будет 2-й вариант прививки МА (рис. 2а). Есть основание полагать, что часть гидроксильных групп на поверхности аппретированных наночастиц взаимодействует с малеиновым ангидридом макроцепи ПЭМА, которая далее приводит к раскрытию пятичленного цикла по приведенному на рис. 2а механизму. Дальнейший процесс гелеобразования не исключает вероятности взаимодействия одной и той же аппретированной частицы или кластера с двумя и более малеинизированными макроцепями ПЭМА (рис. 2б).

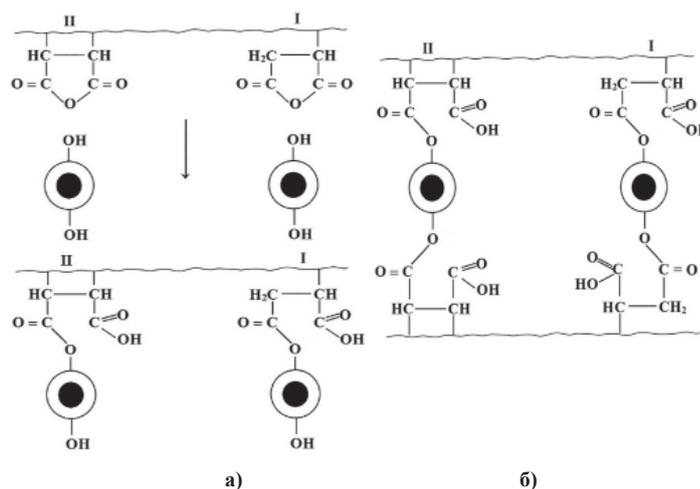


Рис. 2. Схематическое изображение вариантов образования шитых структур с участием привитого малеинового ангидрида с аппретированными наночастицами талька: а) присоединение наночастицы к макроцепи; б) образование шитых структур между макроцепями.

С одной стороны, наличие полярных групп в составе макроцепи увеличивает сродство наполнителя к полимерной матрице, а с другой, при химической связи с макроцепью значительно снижается вероятность агломерации наночастиц [9–12]. Даже если допустить агломерацию аппретированных наночастиц, то высокая реакционная способность гидроксильных групп будет способствовать образованию шитых кластеров, связанных с макроцепью. И, как будет показано ниже, использование метода функционализации макроцепей полимеров способствует значительно усилению прочности композитных материалов. Таким образом, становится очевидным, что в результате этой реакции аппретированная частица наполнителя через молекулу малеинового ангидрида в макроцепи химически связывается с полимерной матрицей.

В таблице 1 приводятся различные варианты введения наполнителя в состав исходного ПЭМП и ПЭМА. Из сопоставительного анализа данных, представленных в этой таблице, можно установить, что в зависимости от типа полимерной матрицы и концентрации введенного талька физико-механические свойства нанокомпозитов претерпевают существенные изменения. Разработка композитных материалов осуществлялась в трех направлениях: введение неаппретированных наночастиц талька в состав исходного ПЭМП (опыты 2–7), наполнение ПЭМА неаппретированными

Таблица 1. Физико-механические свойства нанокомпозитов на основе ПЭНП и ПЭМА с аппретированными и неаппретированными наночастицами талька.

№№	Состав нанокомпозита, в % масс.	Предел текучести при растяжении, σ , МПа	Разрушающее напряжение, σ_p , МПа	Относительное удлинение, ϵ , %	Теплостойкость по Вика, °С	ПТР, г/10 мин
1	ПЭНП	13,1	12,5	720	86	3,3
2	ПЭНП + 0,5 тл	14,0	13,2	725	86	3,6
3	ПЭНП + 1,0 тл	14,9	13,8	725	86	3,6
4	ПЭНП + 5,0 тл	15,7	14,4	395	87	4,7
5	ПЭНП + 10 тл	16,5	15,8	165	88	5,4
6	ПЭНП + 20 тл	15,1	14,5	75	89	6,5
7	ПЭНП + 30 тл	13,7	13,4	20	90	4,4
8	ПЭМА	14,2	13,3	355	88	3,0
9	ПЭМА + 0,5 тл	15,6	14,8	385	88	3,1
10	ПЭМА + 1,0 тл	16,3	15,5	390	88	3,4
11	ПЭМА + 5,0 тл	17,0	16,2	295	90	5,2
12	ПЭМА + 10,0 тл	16,2	15,4	120	91	5,8
13	ПЭМА + 20,0 тл	15,6	14,9	85	93	6,8
14	ПЭМА + 30,0 тл	14,2	14,0	30	94	5,6
15	ПЭМА + 1,0 тл + 1,0 ап	17,0	16,3	370	91	3,9
16	ПЭМА + 5,0 тл + 1,0 ап	18,4	17,4	300	93	3,4
17	ПЭМА + 10,0 тл + 1,0 ап	18,1	17,4	135	97	3,8
18	ПЭМА + 20,0 тл + 1,0 ап	16,3	15,2	90	97	2,7
19	ПЭМА + 30,0 тл + 1,0 ап	15,2	14,6	30	98	1,9
20	ПЭМА + 1,0 тл + 2,0 ап	17,3	15,9	350	92	3,3
21	ПЭМА + 5,0 тл + 2,0 ап	19,0	18,1	310	94	3,5
22	ПЭМА + 10,0 тл + 2,0 ап	18,5	17,7	120	95	3,3
23	ПЭМА + 20,0 тл + 2,0 ап	16,8	16,4	95	99	2,3
24	ПЭМА + 30,0 тл + 2,0 ап	15,0	14,9	35	100	1,8

тальк - тл, аппрет - ап

наночастицами талька (9–14) и, наконец, введение аппретированных наночастиц талька в состав ПЭМА (15–24). Как видно из таблицы 1, при введении наночастиц талька в состав ПЭНП происходит возрастание прочностных показателей с максимумом при 10% масс. При этом установлено, что с ростом концентрации наполнителя до 30% масс. наблюдается постоянное увеличение теплостойкости композитов от 86 до 90°C. В зависимости от концентрации талька ПТР образцов изменяется по определенной закономерности. В частности, найдено, что с повышением концентрации талька наблюдается общая тенденция к увеличению ПТР композитов с максимумом при 20% масс. содержания талька. Интерпретируется это тем, что все природные минералы, включая тальк, характеризуются слоистой структурой, в межслоевом пространстве которой содержится глицерин и различные полярные поверхностно-активные органические вещества (ПАВ) [11, 12]. Именно это обстоятельство способствует тому, что в процессе переработки и термомеханического воздействия на расплав композита увеличивается вероятность интеркаляции макроцепей в межслоевое пространство. Есть основание полагать, что после интеркаляции макроцепей в межслоевое пространство происходит процесс распада (эксфолиации) слоистых структур на более мелкие. Именно в результате эксфолиации происходит миграция ПАВ и полярных жидкостей непосредственно в расплав полимерного композита, которые подобно агентам смазки способствуют улучшению текучести расплава. И, чем больше концентрация нанодисперсного талька, тем больше возрастает эффект улучшения текучести расплава композита. Однако следует иметь в виду, что при определенных условиях, наряду с увеличением концентрации наполнителя, в полимерной матрице возрастает число наночастиц в единице объема полимерной матрицы, которые способствуют повышению вязкости расплава. Так, например, установлено, что при концентрации талька свыше 20% масс. происходит закономерное снижение ПТР образцов. Но, несмотря на снижение ПТР, их значения остаются всегда выше, чем у исходного ПЭНП. Это обстоятельство имеет весьма важное значение для осуществления переработки нанокомпозитов методами литья под давлением и экструзии.

Необходимо отметить, что эффективность действия наночастиц талька проявляется не только в способности интеркаляции макроцепей полимерной матрицы в межслоевое пространство с последующей их эксфолиацией. Важным и вполне допустимым моментом является формирование нанометрового монослоя полимера на развитой поверхности наночастицы. Это обстоятельство способствует равномерному диспергированию наночастиц в полимерном

объеме, что является весьма важным моментом для осуществления механо-химического синтеза композитных материалов в сравнительно мягком технологическом режиме.

Полученные экспериментальные данные позволяют утверждать, что необходимо соблюдение определенных технологических условий, способствующих протеканию в расплаве физических процессов интеркаляции и эксфолиации. Именно эти процессы являются ответственными за высокие физико-механические свойства алюмо-силикатных нанокомпозитов и их способность перерабатываться всеми известными методами.

Однако если в качестве полимерной матрицы использовать ПЭМА (образец 8), то в этом случае отмечается некоторое возрастание физико-механических характеристик наполненных тальком нанокомпозитов. Если сопоставить свойства исходного ПЭНП и ПЭМА, то можно установить заметное улучшение свойств образцов, модифицированных малеиновым ангидридом. Снижение наблюдается только таких показателей как относительное удлинение и частично ПТР. Введение полярных групп в состав ПЭНП в режиме расплава в определенной степени вносит свои коррективы в изменение кинетики и механизма кристаллизации полимерной матрицы и композитов на его основе. Безусловно, все эти факторы будут влиять на процесс формирования надмолекулярной структуры, которая ответственна за изменение комплекса деформационно-прочностных свойств и физико-химических характеристик композитных материалов [9–13].

Если провести сравнительный анализ нанокомпозитов, полученных на основе ПЭМА и талька (образцы 9–14), можно установить, что в этих образцах наблюдается некоторое улучшение прочностных свойств и теплостойкости. Достаточно отметить, что теплостойкость нанокомпозитов на основе ПЭМА возрастает от 88 до 94°C. Максимальное значение разрушающего напряжения образцов достигается при 5,0% масс. концентрации и составляет 17,0 МПа. Некоторое возрастание прочности нанокомпозитов обусловлено полярностью ПЭМА, при которой улучшается совместимость смешиваемых компонентов смеси.

Рассмотрим, как процесс аппретирования наночастиц кремний-органическим соединением влияет на закономерность изменения их физико-механических свойств (образцы 15–24). Анализируя данные в таблице 1, можно установить, что введение аппретированных наночастиц талька в состав ПЭМА сопровождается существенным ростом прочностных показателей и теплостойкости композитных материалов. При этом максимальное значение разрушающего напряжения и предела текучести при растяжении дости-

Таблица 2. Физико-механические свойства нанокомпозитов на основе ПЭМА с аппретированными частицами грубодispersного талька (размер частиц 1–2 мкм).

№№	Состав нанокомпозита, % масс.	Предел текучести при растяжении, σ_p , МПа	Разрушающее напряжение, σ_p , МПа	Относительное удлинение, ϵ , %	Теплостойкость по Вика, °С	ПТР, г/10 мин
1	ПЭМА + 1,0 тл + 1,0 ап	15,6	15,0	345	89	3,5
2	ПЭМА + 5,0 тл + 1,0 ап	16,6	15,6	215	90	2,8
3	ПЭМА + 10,0 тл + 1,0 ап	17,1	16,3	105	92	2,2
4	ПЭМА + 20,0 тл + 1,0 ап	14,8	14,5	45	92	1,9
5	ПЭМА + 30,0 тл + 1,0 ап	14,1	13,9	20	94	1,5
6	ПЭМА + 1,0 тл + 2,0 ап	15,3	14,7	320	91	3,0
7	ПЭМА + 5,0 тл + 2,0 ап	16,5	15,5	190	92	2,5
8	ПЭМА + 10,0 тл + 2,0 ап	17,5	16,9	90	92	1,8
9	ПЭМА + 20,0 тл + 2,0 ап	15,0	14,8	35	93	1,5
10	ПЭМА + 30,0 тл + 2,0 ап	14,5	14,3	20	95	1,2

гается также при сравнительно низкой концентрации талька, равной 5,0% масс. Теплостойкость аппретированных нанокомпозитов в составе ПЭМА возрастает от 88 до 100°C. Полученные данные свидетельствуют о том, что в результате протекания золь-гель реакции между гидроксильными группами аппрета, частиц наполнителя и полимерной матрицы образуются гибридные гели, которые, собственно, и определяют относительно высокие значения прочности и теплостойкости нанокомпозитов. Преимущество такого метода модифицирования полимеров заключается еще и в том, что формирование сетчатой структуры на поверхности наночастиц и образование ковалентной связи с аппретом и полимерной матрицей практически сводит к минимуму вероятность их агломерации.

Дериватографический метод исследования температуры плавления нанокомпозитов показал, что температура их плавления превышает изменение при относительно высоких концентрациях талька, в пределах 20–30% масс., а также в образцах 15–24. Так, например, если у исходного ПЭМА температура плавления составляет 101°C, то при введении 20% масс. талька и больше величина этого показателя возрастает до 103°C. В то же время, при введении такого же количества уже аппретированного талька в состав ПЭМА температура плавления возрастает от 103°C (для исходного ПЭМА) до 107°C для нанокомпозитов. Последнее обстоятельство еще раз подтверждает сам факт формирования сшитой структуры в химически модифицированных нанокомпозитах.

Представлялось интересным изучить влияние размера частиц талька на характер изменения свойств. Так, например, в таблице 2 приводятся результаты исследования влияния концентрации относительно грубодispersного талька (размер частиц 1–2 мкм) на основные физико-механические свойства композитов на основе ПЭМА. Сопоставляя данные, представленные в таблицах 1 и 2, можно установить, что, в отличие от наночастиц, введение сравнительно грубодispersного талька способствует некоторому снижению свойств. Характерно, что, если для нанокомпозитов максимальное значение прочности достигается при 5,0% масс. содержания талька, то у грубодispersных максимум прочности имеет место при 10% масс. его содержания. Интерпретируется это тем, что в 1 г нанодispersного талька число частиц выше, чем в 1 г грубодispersного наполнителя. Очевидно, что частицы талька в расплаве композита образуют гетерогенные центры зародышеобразования. Гомогенные и гетерогенные центры зародышеобразования в процессе охлаждения перерастают в центры кристаллизации с образованием мелкодispersных сферолитных образований. Определенное число частиц талька принимает участие в образовании гетерогенных центров кристаллизации, а другая часть в процессе роста сферолитных образований вытесняется в межсферолитное аморфное пространство. И по мере накопления этих частиц в аморфных областях уменьшается подвижность «проходных» макроцепей, в результате чего возрастает жесткость и хрупкость композитного материала при одноосной деформации.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно прийти к выводам:

- Введение аппретированного талька, полученного в процессе золь-гель реакции, в состав привитого сополимера (ПЭМА) способствует формированию сшитой структуры и повышению прочностных показателей нанокомпозитов с максимумом при 5,0% масс. содержания талька.

- При введении грубодispersного талька с размером частиц 1–2 мкм максимальное значение прочностных свойств проявляется при его 10% масс. содержании в составе ПЭМА.

- Теплостойкость композитов возрастает пропорционально концентрации вводимого талька.

Литература

1. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошман В.Г. Принципы создания композиционных материалов. М.: Химия, 1990, 240 с.
2. Ермаков С.Н., Кербер М.Л., Кравченко Т.П. Химическая модификация и смешение полимеров при реакционной экструзии // Пластические массы, 2007, №10, с. 32–41.
3. Kakhramanov N.T., Ismailzade A.D., Arzumanova N.B., Mammadli U.M., Martinova Q.S. Filled composites based on polyolefins and clinoptilolite. // American Scientific Journal. №4 (4). 2016. p.60–65.
4. Стегно Е.В., Лалаян В.М., Грачев А.В., Владимиров Л.В., Берлин А.А. Свойства гибридных смесей полиоксида бора и сополимера этилена с винилацетатом // Все материалы. Энциклопедический словарь. 2018. № 5. с. 1–7.
5. Кахраманов Н.Т., Курбанова Р.В., Косева Н.С., Кахраманлы Ю.Н., Мамедли У.М. Гибридные нанокомпозиты на основе полипропилена и клинотилолита // Пластические массы, 2019, №3–4, с. 32–34.
6. Кахраманов Н.Т., Курбанова Р.В. Гибридные нанокомпозиты на основе функционализированного полиэтилена высокой плотности и аппретированного бентонита. // Все материалы. Энциклопедический справочник, 2019, №7, с. 17–25.
7. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б., Павлова И.В., Кавокин Е.И., Сакович Д.А. Эффективный подход к созданию современных полимерных композиционных материалов. // Полимерные материалы, 2008, №3, с. 4–14.
8. Сирота А.Г., Бугоркова В.С. Об эффективности полярных модифицирующих добавок к полиэтилену // Пластические массы, 2010, № 5, с. 6–11.
9. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых материалов, Киев: изд. Академия наук Укр. ССР, 1961, 275 с.
10. Чердынцева С.В., Белоусов С.И., Крашенинников С.В. и др. Влияние вида органического модификатора монтмориллонита на физико-химические свойства нанокомпозитов на основе полиамида-6, полученных смешением в расплаве. // Пластические массы, 2013, №5, с. 39–43.
11. Песецкий С.С., Богданович С.П. Нанокомпозиты, получаемые диспергированием глин в расплавах полимеров. // Тез. докл. Междуна. научно-технич.конфер. «Полимерные композиты и трибология», г. Гомель, 2015, с. 5.
12. Слепцова С.А., Афанасьева Е.С., Григорьева В.П. Структура и триботехнические свойства политетрафторэтилена, модифицированного слоистыми силикатами. // Трение и износ, 2009. – Т. 30. – № 6. – с. 587–593.
13. Кахраманов Н.Т., Касумова Г.Ш., Мамедли У.М., Гасанова А.А., Чалабиева А.З. Кинетические закономерности кристаллизации композитов на основе блок пропилен-этиленового сополимера и минеральных наполнителей. // Композиты и наноструктуры, 2018, т. 10, вып. 4 (40), с. 135–140.