

## **Влияние режима литья под давлением на свойства аппретированных и функционализированных нанокомпозитов на основе полиэтилена низкой плотности**

**Р. В. Курбанова, Н. Т. Кахраманов, В. С. Осипчик, А. Д. Гулиев**

Исследовано влияния режима литья под давлением на физико-механические и технологические свойства нанокомпозитов на основе функционализованного малеиновым ангидридом полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и аппретированного  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилоном талька. В качестве объекта исследования использовали нанокомпозиты с 5,0 и 30 масс. % содержанием аппретированного талька. Исследовано разрушающее напряжение, относительное удлинение, прочность на изгиб и объемная усадка. Образцы для испытаний изготавливали на одношнековом экструдере. Установлено, что введение аппретированного талька в состав химически модифицированного ПЭНП способствует некоторому возрастанию разрушающего напряжения и модуля упругости на изгиб нанокомпозита. Экспериментальные исследования проводили в широком диапазоне температур материального цилиндра и давления литья. Найдено, что сравнительно высокие физико-механические свойства достигаются у образцов, полученных при более высокой температуре по зонам материального цилиндра. Давление литья варьировали в пределах 50 – 150 МПа. Установлено, что сравнительно высокие физико-механические и технологические свойства для нанокомпозитов с 5,0 и 30 масс. % содержанием талька достигаются при температуре материального цилиндра по зонам 110 – 130 – 160 – 180 °С и давлении литья 150 МПа. Значительное снижение объемной усадки получено у образцов с 30 масс. % содержанием талька. Рассмотрено влияние температуры прессформы и времени выдержки под давлением на изменение свойств нанокомпозитов. Показано, что наиболее оптимальным режимом в охлаждающей прессформе для образцов с 5,0 масс. % содержанием талька является 50 °С и время выдержки под давлением 20 с, а для нанокомпозита с 30 масс. % содержанием талька — 50 °С и время выдержки 10 с. Изучено влияние расположения литникового устройства по отношению к поверхности образца на изменение свойств композитных материалов. Приведено научное обоснование обнаруженным закономерностям в изменении свойств нанокомпозитов.

**Ключевые слова:** разрушающее напряжение, относительное удлинение, литье под давлением, тальк, аппретирование, композит.

**DOI: 10.30791/1028-978X-2021-2-77-86**

### **Введение**

По мере увеличения мирового производства полиолефинов одновременно наблюдается тенденция к росту конструкционных изделий, выпускаемых на их основе. Обусловлено это тем, что полиолефины относятся к числу наиболее доступных к химической и механо-химической модификации полимеров, которые можно перерабатывать практически на всех видах стандартного оборудования

для пластмасс. Наряду с этим, такие особенности их качества, как масло-бензостойкость, устойчивость к действию большинства кислот и щелочей, удовлетворительные физико-механические и технологические свойства делают их незаменимыми материалами в производстве широкого набора экструзионных и литьевых изделий, отличающихся высокими эксплуатационными характеристиками. Введение наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, смешение с другими полимерами и

химическое сшивание в совокупности открывают еще более новые возможности расширения областей их практического использования в качестве конструкционных материалов с заданными свойствами [1 – 4].

Вместе с тем, анализ литературы в направлении переработки композитных материалов, а тем более нанокомпозитов, показывает отсутствие системных аналитических исследований в этом направлении. Это можно объяснить тем, что в условиях жесткой конкуренции многие специализированные фирмы пытаются не раскрывать технологические особенности переработки композитов или “ноу-хау” своих разработок [4 – 6].

Вдобавок ко всему, практически отсутствуют исследования по изучению влияния технологических особенностей переработки аппретированных нанокомпозитов методом литья под давлением на их основные физико-механические свойства. В совокупности все эти факты диктуют необходимость всестороннего изучения этой проблемы [6,7].

Сотрудники Института полимерных материалов НАН Азербайджана на протяжении долгих лет проводят исследования не только по разработке и исследованию нанокомпозитов и полимерных смесей, но и осуществляют подбор оптимальных условий их переработки методами литья под давлением и экструзии. При этом считаем, что о качестве полимерного материала и изделий на их основе, в конечном счете, можно судить только после детального изучения влияния технологических параметров переработки на их основные физико-механические свойства [6, 7].

Цель работы — исследование влияния основных технологических параметров литья под давлением на свойства нанокомпозитов.

### **Экспериментальная часть**

В работе использовали:

Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) — со средней молекулярной массой 95000, плотностью 923 кг/м<sup>3</sup>, разрушающим напряжением 12,5 МПа, относительным удлинением 720 %, прочностью на изгиб 14,2 МПа, показателем текучести расплава (ПТР) — 1,5 г/10 мин.

Тальк — Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> — минерал из класса силикатов. Это кристаллическое вещество, представляющее собой жирный на ощупь рассыпчатый порошок белого цвета. Качество талька определяется его белизной.

Наночастицы талька получали на аналитической мельнице марки А-11 при скорости вращения

ротора 30000 об/мин. Размер наночастиц, определенный на приборе модели STA PT1600 Linseiz Германия, составил 34 – 110 нм.

Перед введением наночастиц микроталька в состав ПЭНП наполнитель подвергали аппретированию при температуре 90 °С в подкисленной HCl (pH = 3,5) дистиллированной воде в присутствии кремнийорганического соединения АГМ-9 (γ-аминопропилтриэтоксисилан — H<sub>2</sub>NC<sub>3</sub>H<sub>6</sub>-Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>) в течение 8 ч. В результате алкоксидного метода золь-гель синтеза между гидроксильными группами молекул АГМ-9 и талька на поверхности наночастиц формируется тонкий слой сшитой структуры кремнийорганического соединения [8 – 10].

Функционализированный ПЭНП (ПЭМА), представляет собой привитой сополимер полиэтилена с малеиновым ангидридом. Концентрация малеинового ангидрида в составе ПЭМА составляла 5,6 масс. %. ПЭМА получали в процессе механо-химического синтеза методом экструзии. Прививку малеинового ангидрида осуществляли преимущественно по наиболее уязвимым концевым, α-метиленовым и трансвиниленовым двойным связям, а также по месту разрыва макроцепей по –С–С– связи в процессе реакционной экструзии. 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 сшитой структуры [9 – 12].

Количество образовавшейся гель-фракции определяли на приборе Сокслета путем промывки аппретированных наночастиц талька в кипяченной воде в течение 3 ч. Содержание гель-фракции (за вычетом массы наполнителя в навеске) составляло 12 – 15 масс. %.

Разрушающее напряжение и относительное удлинение нанокомпозитов изучали по результатам аналитических данных из 5 измерений в соответствии с ГОСТ 11262-80. Относительная ошибка эксперимента составляла 3 – 5 %.

Модуль упругости на изгиб определяли в соответствии с ГОСТ 9550-81.

ПТР полимерных материалов исследовали на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) при температуре 190 °С и нагрузке 5 кг. Относительная ошибка эксперимента — 5 %.

Исходные композиции для литья на основе ПЭМА и аппретированного талька получали в процессе предварительного сухого смешения в шаровой мельнице. Затем полученную смесь вводили в

бункер литейной машины. Для проведения исследований по оценке физико-механических свойств полимерных композиций отливали образцы лопаток на литейной машине марки ДЕЗ132.250Ц1. Материальный цилиндр литейной машины состоит из 4-х обогреваемых зон, имеет шнек червячного типа (отношение длины к диаметру  $L/D = 24$ ) с предварительной пластикацией, который вращается и одновременно может поступательно перемещаться в прямом и обратном направлениях. Такая конструкция литейной машины позволяет использовать ее возможности одновременно для смешения компонентов смеси и отливки изделия в прессформе.

Объемную усадку определяли по изменению длины бруска от исходной длины формующей части прессформы 55,5 мм. Усадку ( $\Delta$ ) рассчитывали по уравнению:

$$\Delta = \frac{55,5 - L}{55,5} \cdot 100\%,$$

где  $L$  — текущее значение длины образца. Значение усадки определяли как среднее из 5 экспериментов, проведенных для каждого образца.

### **Результаты и их обсуждение**

Многие исследователи при получении композитных материалов, как правило, ограничиваются только разработкой материала и изучением их структуры и свойств. Вопросы, которые связаны с их переработкой на литейном оборудовании не рассматриваются. Поэтому, было бы уместно утверждать о том, что о комплексном исследовании композитных материалов можно судить только после того, как будут окончательно обозначены их технологические особенности переработки стандартными методами.

В рассматриваемой работе нами в качестве объекта исследования был использован нанокompозит на основе ПЭМА с различным содержанием аппретированных наночастиц талька. Предстояло выяснить влияние давления литья, времени выдержки под давлением, концентрации наполнителя, температуры материального цилиндра и прессформы на физико-механические свойства полученных образцов. В этой связи, будет уместным утверждать, что о разработке композитного материала можно судить только после того, как будет выработан оптимальный технологический режим его переработки. Такая постановка задачи вполне оправдана, так как неоднократно нами было установлено, что технологические параметры переработки компо-

зитов определенным образом влияют на их свойства и качество поверхности изделия. Принимая во внимание, что в качестве объекта исследования использованы сравнительно новые типы модифицированного ПЭНП (ПЭМА) и аппретированный силанами нанонаполнитель, то должен быть понятен интерес к изучению проблемы их перерабатываемости.

Конструкция литейной машины ДЕЗ132.250Ц1 устроена таким образом, что процесс интенсивного перемешивания компонентов смеси в материальном цилиндре осуществляется по “монотрем” технологии. Эта технология позволяет в едином технологическом процессе осуществлять интенсивное и равномерное смешение компонентов смеси с одновременным получением изделий на их основе. В данном случае для оценки физико-механических характеристик нанокompозитов в качестве изделия рассматривали лопатки, получаемые в охлаждающей прессформе. Универсальность этого литейного оборудования заключается еще и в том, что после разогрева полимерной массы процесс смешения сопровождается не только вращением шнека, но и частичным поступательным перемещением шнека, в результате которого создается необходимое давление в момент впрыска в прессформу. Характерно, что после того, как был осуществлен впрыск в прессформу, шнек при постоянном вращении отодвигается назад для получения следующей порции смеси. Постоянное вращение шнека создает требуемое давление литья. Подобный принцип работы литейного оборудования повышает производительность и эффективность литейного оборудования.

В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию температуры и давления литья на физико-механические и технологические свойства нанокompозитов. Как видно из табл. 1, с увеличением давления и температуры литья наблюдается общая тенденция к росту разрушающего напряжения, относительного удлинения и модуля упругости при изгибе. Вместе с тем, наблюдается снижение объемной усадки нанокompозитов. Согласно полученным данным, наилучшими свойствами обладают нанокompозиты, полученные при сравнительно высокой температуре и давлении литья. Есть основание полагать, что высокая температура и давление литья способствуют увеличению эффективности диспергирования наполнителя и повышению скорости впрыска в холодную прессформу.

Рассмотрено влияние концентрации наночастиц на основные физико-механические и техно-

Таблица 1

Влияние температурного режима и давления литья на свойства нанокомпозитов на основе ПЭМА + 5,0 масс. % аппретированного талька (АТЛ)

Table 1

Influence of a temperature mode and pressure of moulding upon properties nanocomposites on the basis of PEMA + 5.0 mass. % dressing talc (DTL)

Температура по зонам, °С	Давление литья, МПа	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %	Объемная усадка, %	Модуль упругости при изгибе, МПа
110 – 130 – 140 – 150	50	13,9	250	0,27	341
110 – 130 – 150 – 160		14,6	260	0,26	345
110 – 130 – 150 – 170		14,6	275	0,20	350
110 – 130 – 160 – 180		15,0	275	0,20	362
110 – 130 – 140 – 150	100	15,0	250	0,22	342
110 – 130 – 150 – 160		15,0	275	0,22	350
110 – 130 – 140 – 170		15,7	280	0,18	369
110 – 130 – 160 – 180		15,7	280	0,18	367
110 – 130 – 140 – 150	150	15,2	285	0,20	351
110 – 130 – 150 – 160		15,2	300	0,18	355
110 – 130 – 140 – 170		16,2	295	0,18	376
110 – 130 – 160 – 180		16,2	290	0,18	382

Таблица 2

Влияние температурного режима и давления литья на свойства нанокомпозитов на основе ПЭМА + 30 масс. % АТЛ

Table 2

Influence of a temperature mode and pressure of moulding upon properties nanocomposites on the basis of PEMA + 30 mass. % DTL

Температура по зонам, °С	Давление литья, МПа	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %	Объемная усадка, %	Модуль упругости при изгибе, МПа
110 – 130 – 140 – 150	50	12,9	20	0,15	352
110 – 130 – 150 – 160		13,0	20	0,15	358
110 – 130 – 150 – 170		13,5	25	0,13	365
110 – 130 – 160 – 180		13,8	25	0,13	370
110 – 130 – 140 – 150	100	13,2	20	0,12	364
110 – 130 – 150 – 160		13,5	25	0,12	375
110 – 130 – 140 – 170		14,0	30	0,11	390
110 – 130 – 160 – 180		14,0	30	0,11	393
110 – 130 – 140 – 150	150	13,4	25	0,12	368
110 – 130 – 150 – 160		13,8	25	0,12	380
110 – 130 – 140 – 170		14,2	30	0,10	396
110 – 130 – 160 – 180		14,2	30	0,10	396

логические свойства нанокомпозитов на основе ПЭМА (табл. 2).

Анализируя данные представленные в этой табл. 2, можно установить, что с увеличением концентрации талька в составе ПЭМА от 5 до 30 масс. % наблюдается некоторое снижение разрушающего напряжения, относительного удлинения и объемной усадки. Вместе с тем, установлено, что с увеличением температуры материального

цилиндра и давления литья наблюдается закономерный рост модуля упругости на изгиб. Все обнаруженные закономерности свидетельствуют о сложных процессах, протекающих в расплаве функционализированного малеиновым ангидридом полимерной матрицы в присутствии аппретированного наполнителя. В присутствии 30 масс. % талька изменение относительного удлинения в зависимости от температуры и давления весьма не-

Таблица 3

Влияние температуры прессформы и времени выдержки под давлением на прочностные свойства нанокомпозитов на основе ПЭМА + 5,0 масс. % АТЛ. Давление литья 150 МПа. Температура литья по зонам, 110 – 130 – 160 – 180 °С

Table 3

Influence of temperature of the press form and endurance time under pressure on mechanical properties nanocomposites on the basis of PEMA + 5.0 mass. % DTL. Pressure of moulding 150 MPa. Moulding temperature on zones, 110 – 130 – 160 – 180 °C

Температура прессформы, T, °С	Время выдержки под давлением, с	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %
25	5,0	10,6	170
50		11,0	160
75		11,0	160
25	10	11,0	160
50		11,3	165
75		11,0	170
25	20	11,2	165
50		12,9	170
75		12,0	175
25		11,2	165
50		12,9	170
75	30	12,0	175

Таблица 4

Влияние температуры прессформы и времени выдержки под давлением на прочностные свойства нанокомпозитов на основе ПЭНП + 30,0 масс. % АТЛ. Давление литья 150 МПа. Температура литья по зонам, 110 – 130 – 160 – 180 °С

Table 4

Influence of temperature of the press form and endurance time under pressure on mechanical properties nanocomposites on the basis of PEMA + 30.0 mass. % DTL. Pressure of moulding 150 MPa. Moulding temperature on zones, 110 – 130 – 160 – 180 °C

Температура прессформы, T, °С	Время выдержки под давлением, с	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %
25	5,0	13,5	20
50		14,0	25
75		14,2	30
25	10	13,8	20
50		14,5	30
75		14,5	30
25	20	13,8	25
50		14,5	30
75		14,5	30
25	30	13,8	20
50		14,5	30
75		14,5	30

значительно. Это, прежде всего, обусловлено тем, что при избытке частиц наполнителя последние в процессе охлаждения или роста кристаллов вытесняются в межсферолитную аморфную область, блокируя конформационную подвижность “проходных” цепей. В результате одноосного растяжения процесс вытягивания проходных цепей и в целом макроцепей из сферолитов затрудняется

с последующим хрупким разрушением образцов [13 – 15]. При этом, проводить переработку нанокомпозитов на основе ПЭМА при более высокой температуре было рискованно из-за возможности термоокислительной деструкции.

Другим немаловажными факторами, влияющими на свойства и качество поверхности нанокомпозитов, является температура охлаждающей

прессформы и время выдержки расплава под давлением, значения которых для нанокompозита — ПЭМА + 5 масс. % АТЛ представлены в табл. 3. Анализируя представленные результаты экспериментальных исследований можно установить, что с увеличением температуры прессформы от 25 до 75 °С и времени выдержки под давлением в целом наблюдается повышение разрушающего напряжения и относительного удлинения нанокompозита. Согласно полученным данным наиболее оптимальными для рассматриваемого нанокompозита можно считать температуру прессформы 50 °С и время выдержки под давлением 150 МПа — 20 с. Свойства нанокompозита практически не претерпевают изменений при выдержке под давлением свыше 20 с. В этом случае, процесс охлаждения изделия в прессформе в первую очередь начинается в пристенной области. И, поскольку, полимер является плохим проводником тепла, то это приводит к его неравномерному затвердеванию по всему объему образца. Иными словами, если поверхность образца в пристенной области формирующей части прессформы охлаждается в первую очередь, то середина образца — сравнительно позже. Это обстоятельство в определенной степени может способствовать неравномерному перераспределению сферолитных образований по толщине образца, возникновению внутренних напряжений, сопровождаемое неравномерной объемной усадкой. В пристенной области формируются, как правило, более мелкие кристаллические структуры. Введение минеральных наночастиц в состав ПЭМА способствует формированию в расплаве нанокompозита гетерогенных центров зародышеобразования, которые одновременно с гомогенными центрами способствуют в целом увеличению скорости их

кристаллизации [16]. Одновременное формирование растущих кристаллических образований на смешанных центрах способствует формированию мелкосферолитных надмолекулярных структур, которые благоприятно сказываются на увеличении прочностных показателей. Чем больше температура впрыскиваемого полимерного материала, тем больше перепад температуры в прессформе и выше скорость кристаллизации нанокompозитов. В данном случае давление литья в основном влияет на скорость впрыска и обеспечивает изделие дополнительной порцией материала в процессе его охлаждения и усадки.

В табл. 4 приведены результаты исследования нанокompозита ПЭМА + 30 масс. % АТЛ. Из сопоставительного анализа полученных результатов можно заметить, что, как и у образцов ПЭМА + 5,0 масс. % АТЛ, так и у нанокompозита ПЭМА + 30 масс. % АТЛ наиболее оптимальной является температура прессформы 50 °С и время выдержки 10 с. Это обусловлено тем, что исходный ПЭМА, как и все полиолефины, относятся к категории образцов с относительно низкой теплопроводностью. Однако при высоком содержании АТЛ (30 масс. %) наночастицы способствуют улучшению теплопроводности композита, что выражается в быстром затвердевании и формировании изделия нужной конфигурации. Есть основание полагать, что в таких случаях внутренние напряжения в полимерном объеме сводятся к минимуму. Разница в скорости кристаллизации полимерной матрицы по всему объему образца также минимизируется, что в конечном счете выражается в сохранении разрушающего напряжения и относительного удлинения на удовлетворительном уровне при времени выдержке 10 с и выше. Поэтому, в сравнении с образцом

Таблица 5

Влияние расположения лопатки в прессформе на физико-механические свойства ПЭМА и его нанокompозитов при оптимальных температурных условиях литья (110 – 130 – 160 – 180 °С), температуре прессформы 50 °С и времени выдержки 20 с

Table 5

Influence of an arrangement of a shovel in the press form on physicomехanical properties ПЭМА and it nanocomposites under optimum temperature conditions of moulding (110 – 130 – 160 – 180 °C), press form temperature 50 °C and time of endurance 20 s

Состав нанокompозита	Расположение лопаток в прессформе	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %
ПЭМА	вдоль	13,3	355
	поперек	11,2	310
ПЭМП + 5,0 масс. % АТЛ	вдоль	16,2	290
	поперек	15,3	300
ПЭМП + 30 масс. % АТЛ	вдоль	14,5	30
	поперек	13,9	30



ПЭМА + 5,0 масс. % АТЛ относительно высоконаполненные нанокompозиты достигают наилучших показателей по свойствам при более низком значении времени выдержки под давлением.

При исследовании новых типов полимерных материалов необходимо располагать достаточно убедительными данными по влиянию расположения литника по отношению к изделию. В этой связи, нами в данной работе рассмотрено влияние расположения литника прессформы по отношению к лопаткам, используемым для изучения разрушающего напряжения и относительного удлинения. Результаты исследования представлены в табл. 5.

Из сопоставительного анализа данных приведенных в табл. 5 видно, что в зависимости от расположения лопаток вдоль/поперек разрушающее напряжение для исходного ПЭМА изменяется в 1,19 раза, для образца ПЭМА + 5,0 масс. % АТЛ — в 1,06 раза, а для образцов с 30 масс. % АТЛ — в 1,04 раза. Становится очевидным, что в зависимости от расположения образца с увеличением концентрации АТЛ в составе ПЭМА разница в изменении разрушающего напряжения сводится к минимуму. По-видимому, это обстоятельство можно объяснить тем, что рассматриваемые нанокompозиты характеризуются сшитой структурой, где ковалентная связь образована не только между наночастицей и аппретом, но и полимерной матрицей и аппретом образующих гели.

## **Выводы**

Нанокompозиты, с содержанием талька до 30 масс. %, полученные на основе АТЛ и ПЭМА, могут перерабатываться методом литья под давлением.

Установлено влияние температуры материального цилиндра, давления литья, температуры прессформы и времени выдержки под давлением на основные физико-механические и технологические свойства нанокompозитов. Определены оптимальные условия их переработки методом литья под давлением: температурный режим материального цилиндра 110 – 130 – 160 – 180 °С, давление — 100 МПа, температура — прессформы 50 °С.

## **Литература**

1. Нгуен Минь Туан, Чалая Н.М., Осипчик В.С. Структура и физико-механические свойства смесей полипропилена и металлоцепоного этиленпропиленового эластомера. Пластические массы, 2017, № 9 – 10, с. 12 – 16.
2. Симонов-Емельянов И.Д. Структура и расчет составов дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов в массовых и объемных единицах. Пластические массы, 2019, № 5 – 6, с. 9 – 10
3. 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.
4. 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.
5. Лукасик В.А., Жирнов А.Г. Композиционные материалы на основе полимерных и других органических отходов. Пластические массы, 2000, № 7, с. 39 – 40.
6. Кахраманов Н.Т. Научные основы механо-химического синтеза полимерных композиционных материалов. Сб. научных трудов Института Полимерных Материалов Национальной АН Азербайджана, 2014, с. 108 – 115.
7. Kakhramanov N.T., Guseinova Z.N., Osipchik V.S. the influence of the technological parameters of injection molding on the physico-mechanical properties of dynamic elastoplastic based on polyolefins. Polymer Science, Series D, 2019, v. 12, no. 3, pp. 317 – 321.
8. Атясова Е.В., Блазнов А.Н. Гибридные полимерные композиционные материалы. Часть 1. Состав и свойства. Все материалы. Энциклопедический справочник, 2019, № 11, с. 23 – 31.
9. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б., Павлова И.В., Кавокин Е.И. Эффективный подход к созданию современных полимерных композиционных материалов. Полимерные материалы, 2008, № 3, с. 4 – 14.
10. Kurbanova R.V., Kakhramanov N.T. Hybrid nanocomposites based on high – density functionalized polyethylene and sized bentonite. Polymer Science, Series D, 2020, v. 13, no. 1, pp. 106 – 111.
11. Курбанова Р.В., Кахраманов Н.Т. Гибридные нанокompозиты на основе функционализированного полиэтилена высокой плотности и аппретированного бентонита. Все материалы. Энциклопедический справочник, 2019, № 7, с. 17 – 25.
12. Kurbanova R.V., Kakhramanov N.T., Kakhramanly Y.N., Mammadova G.M. About mechanism of dressing of surface of mineral fillers of plastics. Problems and their solutions. Processes of petrochemistry and oil refining, 2018, № 4, p. 389 – 396.
13. Симонов-Емельянов И.Д., Пыхтин А.А., Михальченко К.А. Влияние размеров наночастиц и их агломератов на физико-механические свойства эпоксиананокompозитов. Российские нанотехнологии, 2018, т. 13, № 7 – 8, с. 24 – 29
14. Калистратова Л.Ф., Егорова В.А. Упорядочение аморфной фазы как одна из характеристик

надмолекулярной структуры аморфно-кристаллического полимера. *Материаловедение*, 2019, № 1, с. 3 – 8.

15. Гарехбаш Н. Физико – механические свойства нанокompозитов на основе полипропилена, модифицированного монтмориллонитом. Доклады академии наук Республики Таджикистан, 2013, т.56, №3, с.215 – 220.
16. Кахраманов Н.Т., Мустафаева Ф.А., Арзуманова Н.Б., Гулиев А.Д. Кинетические закономерности кристаллизации композиционных материалов на основе смеси полиэтилена низкой и высокой плотности. *Материаловедение*, 2019, №5, с. 43 – 48.

## References

1. Nguyen Minh Tuan, Chalaya N.M., Osipchik V.S. Struktura i fiziko-mekhanicheskie svoystva smesey polipropilena i metallocenovogo etilenpropilenovogo elastomera [Structure and physico-mechanical properties of mixtures of polypropylene and metallocene ethylene propylene elastomer]. *Plasticheskie massy — International Polymer Science and Technology*, 2017, no. 9 – 10, pp. 12 – 16.
2. Simonov-Emelyanov I.D. Struktura i raschet sostavov dispersno-napolnennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov v massovykh i ob’emnykh edinitsakh [The structure and calculation of the composition of dispersion-filled polymer composite materials in mass and volume units]. *Plasticheskie massy — International Polymer Science and Technology*, 2019, no. 5 – 6, pp. 9 – 10.
3. Kalinchev E.L., Sakovtseva M.B., Pavlova I.V., Kavokin E.I., Sakovich D.A. Effektivnyj podhod k sozdaniyu sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [An effective approach to the creation of modern polymer composite materials]. *Polimernye Materialy — Polymer materials. Products, equipment, technology*, 2008, no. 3, pp. 4 – 14.
4. Kravchenko T.P., Ermakov S.N., Kerber M.L. etc. Nauchno-tehnicheskie problemy polucheniya kompozitsionnykh materialov na osnove konstruktsionnykh termoplastov [Scientific and technical problems of obtaining composite materials based on structural thermoplastics]. *Plasticheskie massy — International Polymer Science and Technology*, 2010, no.10, pp. 32 – 37.
5. Lukasik V.A., Zhirnov A.G. Kompozitsionnye materialy na osnove polimernykh i drugih organicheskikh othodov [Composite materials based on polymeric and other organic wastes]. *Plasticheskie massy — International Polymer Science and Technology*, 2000, no. 7, pp. 39 – 40.
6. Kakhramanov N.T. Nauchnye osnovy mekhanohimicheskogo sinteza polimernykh kompozitsionnykh materialov [Scientific basis of the mechanochemical synthesis of polymer composite materials]. Collection of scientific works of the Institute of Polymer Materials of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, 2014, pp. 108 – 115.
7. Kakhramanov N.T., Guseinova Z.N., Osipchik V.S. The Influence of the technological parameters of injection molding on the physico-mechanical properties of dynamic elastoplastic based on polyolefins. *Polymer Science, Series D*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 317 – 321.
8. Atyasova E.V., Blaznov A.N. Gibridnye polimernye kompozitsionnye materialy. Chast’ 1. Sostav i svoystva. [Hybrid polymer composite materials. Part 1. Composition and properties]. *Vse Materialy. Entsiklopedicheskii Spravochnik — Polymer Science. Series D*, 2019, no. 11, pp. 23 – 31.
9. Kalinchev E.L., Sakovceva M.B., Pavlova I.V., Kavokin E.I. Effektivnyj podhod k sozdaniyu sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [An effective approach to the creation of modern polymer composite materials]. *Plasticheskie massy — International Polymer Science and Technology*, 2008, no. 3, pp. 4 – 14.
10. Kurbanova R.V., Kakhramanov N.T. Hybrid Nanocomposites Based on High-Density Functionalized Polyethylene and Sized Bentonite. *Polymer Science, Series D*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 106 – 111.
11. Kurbanova R.V., Kakhramanov N.T. Gibridnye nanokompозиты na osnove funktsionalizirovannogo polietilena vysokoj plotnosti i appetirovannogo bentonite [Hybrid nanocomposites based on functionalized high-density polyethylene and dressed bentonite]. *Vse Materialy. Entsiklopedicheskii Spravochnik — Polymer Science. Series D*, 2019, no. 7, pp. 17 – 25.
12. Kurbanova R.V., Kakhramanov N.T., Kakhramanly Y.N., Mammadova G.M. About mechanism of dressing of surface of mineral fillers of plastics. Problems and their solutions. Processes of petrochemistry and oil refining, 2018, no. 4, pp. 389 – 396.
13. Simonov-Yemelyanov I.D., Pikhtin A.A., Mikhailchenko K.A. Vliyanie razmerov nanochastits i ikh aqlomeratov na fiziko-mekhanicheskie svoystva epoksinanokompозитov. [Influence of the sizes nanoparticle and their agglomerates on physical-mechanical properties epoxinanocomposites]. *Rossyskiye nanotekhnologii — Nanotechnologies in Russia*, 2018. vol. 13, no. 7 – 8, pp. 24 – 29.
14. Kalistratova L.F., Yegorova V.A. Uporyadocheniye amorfnoy fazi kak odna iz kharakteristik nadmolekulyarnoy strukturi amorfno-kristallicheskogo polimera. [Streamlining of an amorphous phase as one of characteristics permolecular structures of is amorphous-crystal polymer]. *Materialovedenie — Materials Science*, 2019, no. 1, pp. 3 – 8.
15. Garekhash N. Fiziko-mekhanicheskie svoystva nanokompозитov na osnove polipropilena, modifitsirovannogo mонтмориллонитом [Physical and mechanical properties of nanocomposites based on montmorillonite-modified polypropylene]. *Doklady akademii nauk Respubliki Tadzhikistan – Reports of the*



- Tajikistan Republic Academy of Sciences, 2013, vol. 56, no. 3, pp. 215 – 220.
16. Kakhramanov N.T., Mustafaeva F.A., Arzumanova N.B., Guliev A.D. Crystallization kinetics of composite materials based on polyethylene mixture with high and low density. Inorganic Materials: Applied Research, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 127 – 131.

*Статья поступила в редакцию — 20.01.2020 г.  
после доработки — 6.02.2020 г.  
принята к публикации — 7.02.2020 г.*

**Курбанова Рена Вагиф гызы** — Азербайджанский Государственный Университет нефти и промышленности (AZ1010, Азербайджан, Баку, проспект Азадлыг, 20), кандидат химических наук, доцент, диссертант, специалист в области получения аппретированных минеральных наполнителей, разработке и исследовании структуры и свойств композитных материалов на основе полиолефинов и минеральных наполнителей. E-mail: rena06.72@yandex.ru.

**Кахраманов Наджаф Тофик оглы** — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (AZ5004, Азербайджан, Сумгайыт, ул. С. Вургуна, 124), доктор химических наук, профессор, специалист в области химической и механо-химической модификации полимеров, переработки полимеров, получению и исследованию нанокompозитных материалов на основе полимеров и минеральных наполнителей. E-mail: najaf1946@rambler.ru.

**Осипчик Владимир Семенович** — Российский химико-технологический Университет им. Д.И. Менделеева (125047, Москва, Миусская площадь, 9), доктор технических наук, профессор, крупный специалист в области модификации и переработки полимеров, исследованию структуры и свойств композитных материалов. E-mail: vosip@muctr.ru.

**Гулиев Агиль Джамиль оглы** — Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана (AZ5004, Азербайджан, Сумгайыт, ул. С. Вургуна, 124), специалист в области переработки и механо-химической модификации полимеров. E-mail: 4115533@gmail.ru.

## **Influence of moulding condition on the properties of dressed and functionalized nanocomposites based on low density polyethylene**

**R. V. Kurbanova, N. T. Kakhramanov, V. S. Osipchik, A. D. Guliev**

The results of a study of the effect of injection molding on the physicomechanical and technological properties of nanocomposites based on functionalized low-density polyethylene by maleic anhydride and dressed with talc  $\gamma$ -aminopropyltriethoxysilane are presented. As the object of study, nanocomposites with 5.0 and 30 mass. % of dressed talc were used. Properties such as breaking stress, elongation at break, flexural strength, and volumetric shrinkage were investigated. It was found that the introduction of dressed talc in the composition of chemically modified low density polyethylene contributes to some increase in the breaking stress and the flexural modulus of the nanocomposite. Experimental studies were carried out in a wide range of temperatures of the material cylinder and casting pressure. It was found that comparatively high physical and mechanical properties are achieved in samples obtained at higher temperatures in the zones of the material cylinder. Casting pressure ranged from 50 to 150 MPa. It was found that relatively high physicomechanical and technological properties for nanocomposites with 5.0 and 30 mass. % talc content are achieved at a temperature of the material cylinder in the zones 110 – 130 – 160 – 180 °C and a casting pressure of 150 MPa. A significant reduction in volumetric shrinkage is achieved in samples with 30%mass. talc content. The influence of mold temperature and holding time under pressure on the change in the properties of nanocomposites is considered. It is shown that the most optimal mode in the cooling mold for samples with 5.0 mass. % talc content is 50 °C and the exposure time under pressure is 20 s, and for a nanocomposite with 30%mass. talc content — 50 °C and holding time 10 s. The influence of the location of the gate device relative to the surface of the sample on the change in the properties of composite materials is studied. The scientific substantiation of the discovered patterns in changing the properties of nanocomposites is given.

**Keywords:** breaking stress, specific elongation, injection moulding, talc, dressing, composite

---

**Kurbanova Rena Vagif gizi** — Azerbaijan State Oil and Industry University (AZ1010, Baku city, Azadlig-20 avenue), PhD (Chem), associate professor, specialist in the field of obtaining dressed mineral fillers, development and study of the structure and properties of composite materials based on polyolefins and mineral fillers. E-mail: rena06.72@yandex.ru.

**Kakhramanov Najaf Tofik oglu** — Institute of Polymer Materials of the Azerbaijan National Academy of Sciences (AZ5004, Sumgayit city, S. Vurgun st. 124), Dr Sci (Chem) sciences, professor, specialist in the field of chemical and mechano-chemical modification of polymers, processing of polymers, obtaining and research of nanocomposite materials based on polymers and mineral fillers. E-mail: najaf1946@rambler.ru.

**Osipchik Vladimir** — Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev (125047, Moscow, Miuskaya square, house 9), Dr Sci (Eng), professor, a prominent specialist in the field of modification and processing of polymers, study of the structure and properties of composite materials. E-mail: vosip@muctr.ru.

**Guliyev Agil Jamil oglu** — Institute of Polymer Materials of the Azerbaijan National Academy of Sciences (AZ5004, Sumgayit city, S. Vurgun St. 124), specialist in the field of processing and mechano-chemical modification of polymers. E-mail: 4115533@gmail.ru.