

Полимерные композиционные материалы на основе СВМПЭ, наполненные модифицированным монтмориллонитом

С.Н. Данилова^{1,*}, Е.В. Абакунова¹, С.А. Слепцова¹, А.Н. Иванов¹, Чо Джин-Хо²

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

²Университет Менджи, Сеул, Южная Корея

*dsn.sakhayana@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния органоимодифицированного монтмориллонита (оММТ) марки 101/102 на физико-механические, триботехнические и термодинамические характеристики сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Наполнитель вводили в полимерную матрицу в содержании 0,5, 1 и 2 масс. %. Образцы для испытаний получали методом горячего прессования. Было установлено, что введение 0,5 масс. % оММТ в сверхвысокомолекулярный полиэтилен приводит к увеличению прочности при растяжении на 23 %, и модуля упругости на 14 % относительно ненаполненного полимера. Показано, что скорость массового изнашивания материала при сухом трении скольжения уменьшается в 1,5 раза, а линейного износа – в 2,8 раза по сравнению с исходным сверхвысокомолекулярным полиэтиленом. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии выявлено, что с увеличением содержания наполнителя в полимерной матрице значения энтальпии плавления и степени кристалличности уменьшаются на 4 %. Структурными исследованиями показано, что введение органоглины в полиэтилен способствует формированию сферолитной структуры композитов, где частицы наполнителя выступают центрами кристаллизации. Материалы с такой структурой характеризуются повышенной прочностью и износостойкостью по сравнению с исходным полимером.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, органоимодифицированный монтмориллонит, органоглина, физико-механические свойства, износостойкость, дифференциальная сканирующая спектроскопия.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке МНУВО РФ НИР № FSRG-2017-0021 и FSRG-2017-0017 и РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-01299 (исследование триботехнических характеристик СВМПЭ и ПКМ).

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-12

Polymeric composite materials based on UHMWPE filled with modified montmorillonite

S.N. Danilova^{1,*}, E.V. Abakunova¹, S.A. Sleptsova¹, A.N. Ivanov¹, Cho Jin-Ho²

¹North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

²Myongji University, Yongin, South Korea

*dsn.sakhayana@mail.ru

Abstract. Results of the studies of the effect of montmorillonite modified with organics (oMMT) grade 101/102, on the mechanical, tribological and thermodynamic characteristics of ultrahigh molecular weight polyethylene UHMWPE are reported. The filler was introduced into the polymeric matrix in the amount of 0,5, 1 and 2 mass %. The samples for tests were obtained by hot pressing. It was established that the introduction of 0,5 mass % oMMT into ultrahigh molecular weight polyethylene causes an increase in the tensile strength by 23 %, and elastic modulus by 14 % in comparison with the non-filled polymer. It is shown that the rate of mass wear of the material under dry sliding friction decreases by a factor of 1,5, while the linear wear

decreases by a factor of 2,8 in comparison with the initial ultrahigh molecular weight polyethylene. Differential scanning calorimetry was used to reveal that the enthalpy of melting and the degree of crystallinity decrease by 4 % with an increase in the fill content in the polymeric matrix. It was shown by means of structural studies that the introduction of organic clay into the polyethylene promotes the formation of the spherulite structure of the composites, with filler particles acting as crystallization centers. Materials with this kind of structure are characterized by increased strength and wear resistance in comparison with the initial polymer.

Key words: ultra-high molecular weight polyethylene, organically modified montmorillonite, organo-clay, mechanical properties, wear resistance, differential scanning spectroscopy.

Acknowledgements. *The work was carried out with support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation Scientific Research Work № FSRG-2017-0021, FSRG-2017-0017 and the RFBR in the framework of the research project No. 18-33-01299 (research of the tribological characteristics of UHMWPE and PCM)*

Введение

В настоящее время наблюдается расширение областей использования полимерных композиционных материалов (ПКМ), в том числе, в качестве деталей транспорта и технического оборудования, что обусловлено необходимостью замены традиционных дорогостоящих материалов [1]. Одним из перспективных полимеров для ПКМ выступает сверхвысокомолекулярный полиэтилен с его уникальными свойствами. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) имеет низкий коэффициент трения, обладает повышенной прочностью, стойкостью к растрескиванию и имеет широкий температурный интервал эксплуатации от -260 до $+120$ °С. Эти свойства дают возможность использовать его как базовый полимер для создания ПКМ, эксплуатируемых в экстремальных условиях, в том числе, в космических системах [2–4].

Применение слоистых силикатов в качестве наполнителей СВМПЭ приводит к существенно-му повышению модуля упругости Юнга, прочности, эластичности, твердости и барьерных свойств ПКМ даже при малой степени наполнения [5]. Одним из наиболее часто используемых слоистых силикатов является монтмориллонит (ММТ), получаемый из бентонитовых глин [6].

В работе [7] показано, что использование ММТ при хорошем диспергировании в полимерной матрице дает заметное улучшение комплекса свойств получаемых композитов. Тем не менее, процесс совмещения компонентов композита остается сложной технологической задачей в связи с органофобной природой монтмориллонита [8, 9]. Порошкообразный ММТ обычно представляет собой смесь агломератов, каждый из которых содержит до нескольких десятков силикатных пластинок глинистого минерала. Введение в полимер

агломерированных силикатов приводит к значительному ухудшению эксплуатационных показателей ПКМ. Для того чтобы обеспечить диспергирование глины и интеркаляцию макромолекул полимера в пространство между силикатными пластинами, порошки ММТ обрабатывают поверхностно-активными веществами (ПАВ). В качестве ПАВ для обработки поверхности алюмосиликата обычно используют четвертичные аммониевые соли (ЧАС) [10]. При этом неорганические катионы внутри прослоек глины замещаются положительно заряженными аммоний-ионами ПАВ, что способствует увеличению пространства между слоями, к уменьшению поверхностной энергии частиц глины и приданию гидрофобного характера. Такая органоимодифицированная глина (органоглина) хорошо диспергируется в полимерной матрице и улучшает взаимодействие с макромолекулами полимера по сравнению с обычной глиной [11].

Целью данной работы является изучение влияния органоимодифицированного монтмориллонита на физико-механические и триботехнические свойства СВМПЭ.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран СВМПЭ марки GUR 4022 (Selanese, КНР) с молекулярной массой $5,3 \times 10^6$ г/моль, со средним размером частиц 145 мкм и плотностью $0,93$ г/см³. В качестве наполнителя использовали оММТ марки Монамет 1О1/1О2 («Метаклэй», Россия), поверхность частиц которых модифицирована смесью ЧАС, метиленовая группа последних варьируется от 12 до 18. Массовое содержание (w, %) наполнителя в полимере – 0,5, 1,0 и 2,0 %. Образцы для исследований получали по технологии горячего прессования при температуре 175 °С и давлении 10 МПа, при выдержке 20 мин

с последующим охлаждением до комнатной температуры.

Физико-механические свойства ПКМ исследовали на разрывной машине Autograph AGS-J (Shumadzu, Япония) по ГОСТ 11262 при скорости движения подвижных захватов 50 мм/мин (количество образцов на испытание – 6–8).

Триботехнические характеристики определяли на трибометре UMT-3 (CETR, США) согласно ГОСТ 11629 по схеме трения «палец–диск», при нагрузке 150 Н и скорости скольжения 0,5 м/с.

Термодинамические свойства исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 204 F1 Pheonix (NETZSCH, Германия) со скоростью нагревания 20 °С/мин с навеской образцов – 25±1 мг.

Структурные исследования СВМПЭ и ПКМ исследовали на растровом электронном микроскопе JSM-7800FX (JEOL, Япония) с приставкой «X-max 20» (Oxford Instruments, США).

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены результаты исследований физико-механических характеристик ПКМ на основе СВМПЭ и органо-модифицированного монтмориллонита (оММТ).

Анализ физико-механических исследований показал, что введение оММТ в СВМПЭ приводит к повышению предела прочности при растяжении на 23 % и модуля упругости при растяжении на 14 % по сравнению с исходной полимерной матрицей. При этом относительное удлинение при наполнении ПКМ 0,5 масс. и 1 масс. % оста-

ется на уровне исходного СВМПЭ. Наблюдаемые результаты можно объяснить эффектом усиления полимерной матрицы за счет взаимодействия с модифицированной поверхностью органоглины.

На рис. 2 приведены результаты триботехнических показателей ПКМ. Как видно из рис. 2, введение в полимерную матрицу органоглины приводит к уменьшению скорости массового изнашивания в 1,5 раза, а линейного износа – в 2,8 раза по сравнению с исходным СВМПЭ. При этом увеличение прочности и износостойкости достигается уже при небольшой степени наполнения, а именно при содержании оММТ 0,5 масс. %. Кроме этого, структурными исследованиями показано, что использование органоглин в качестве наполнителя СВМПЭ способствует равномерному распределению ее частиц в объеме полимерной матрицы (рис. 3), что в свою очередь не требует дополнительных технологических стадий в процессе переработки ПКМ.

На рис. 3 приведены микрофотографии надмолекулярной СВМПЭ и композитов на его основе. Как видно из рисунка 3, надмолекулярная структура исходного СВМПЭ характеризуется как ламеллярная. При введении 0,5 масс. % органоглины в СВМПЭ зарегистрирована трансформация его надмолекулярной структуры от ламеллярной до сферолитной, при этом установлено, что частицы оММТ являются центрами кристаллизации. Повышение концентрации оММТ в СВМПЭ приводит к уменьшению размеров структурных элементов, наблюдается подавление обра-

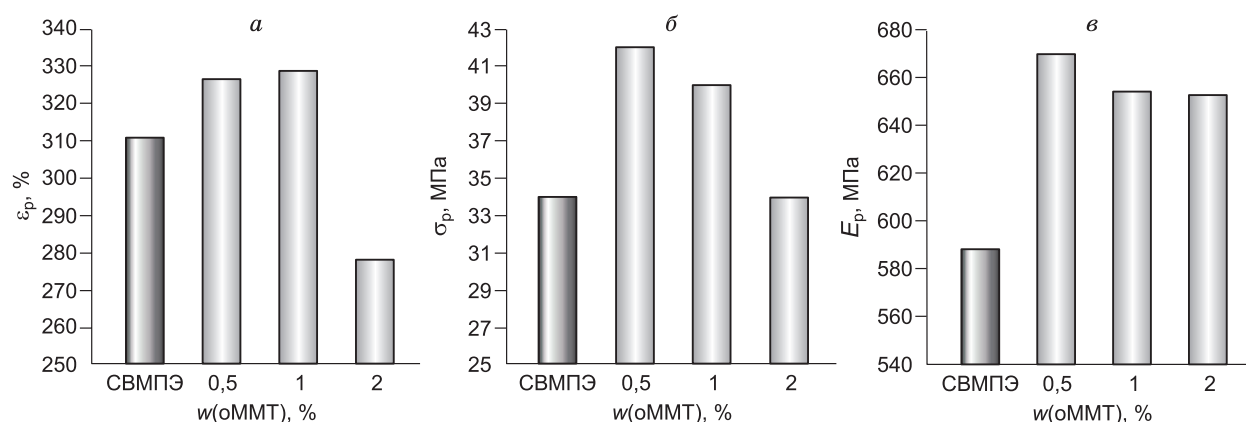


Рис. 1. Зависимость физико-механических характеристик ПКМ от содержания органоглины:

$a - \epsilon_p$, % – относительное удлинение при разрыве; $b - \sigma_p$, МПа – предел прочности при растяжении; $v - E_p$, МПа – модуль упругости при растяжении.

Fig. 1. Dependence of mechanical characteristics of PCM on the content of organoclay:

$a - \epsilon_p$, % – relative extension; $b - \sigma_p$, МПа – tensile strength; $v - E_p$, МПа – elastic modulus.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВМПЭ

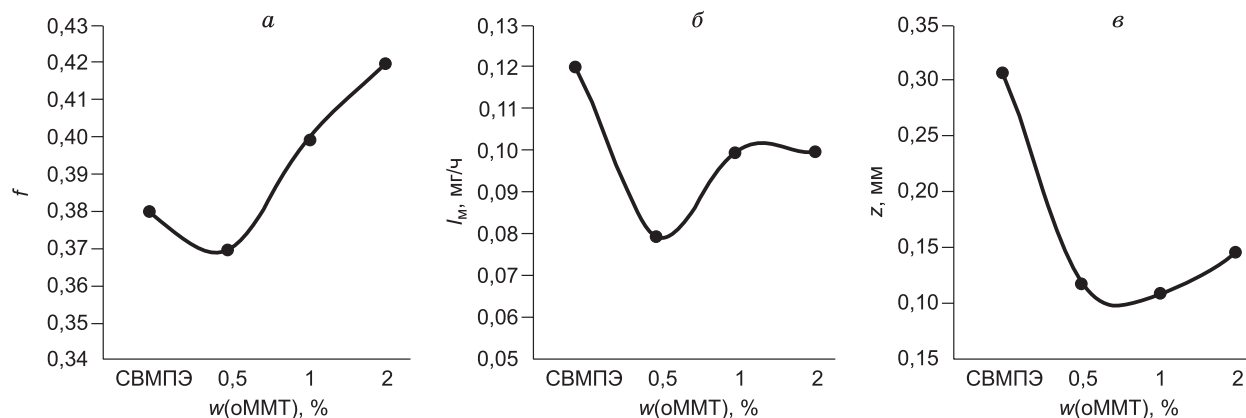


Рис. 2. Зависимость триботехнических свойств ПКМ от содержания органоглины: *a* – коэффициента трения; *б* – скорости массового изнашивания; *в* – линейного износа.

Fig. 2. Results of research of tribotechnical properties of PCM depending on the content of organoclay: *a* – coefficient of friction; *б* – mass wear rate; *в* – linear wear.

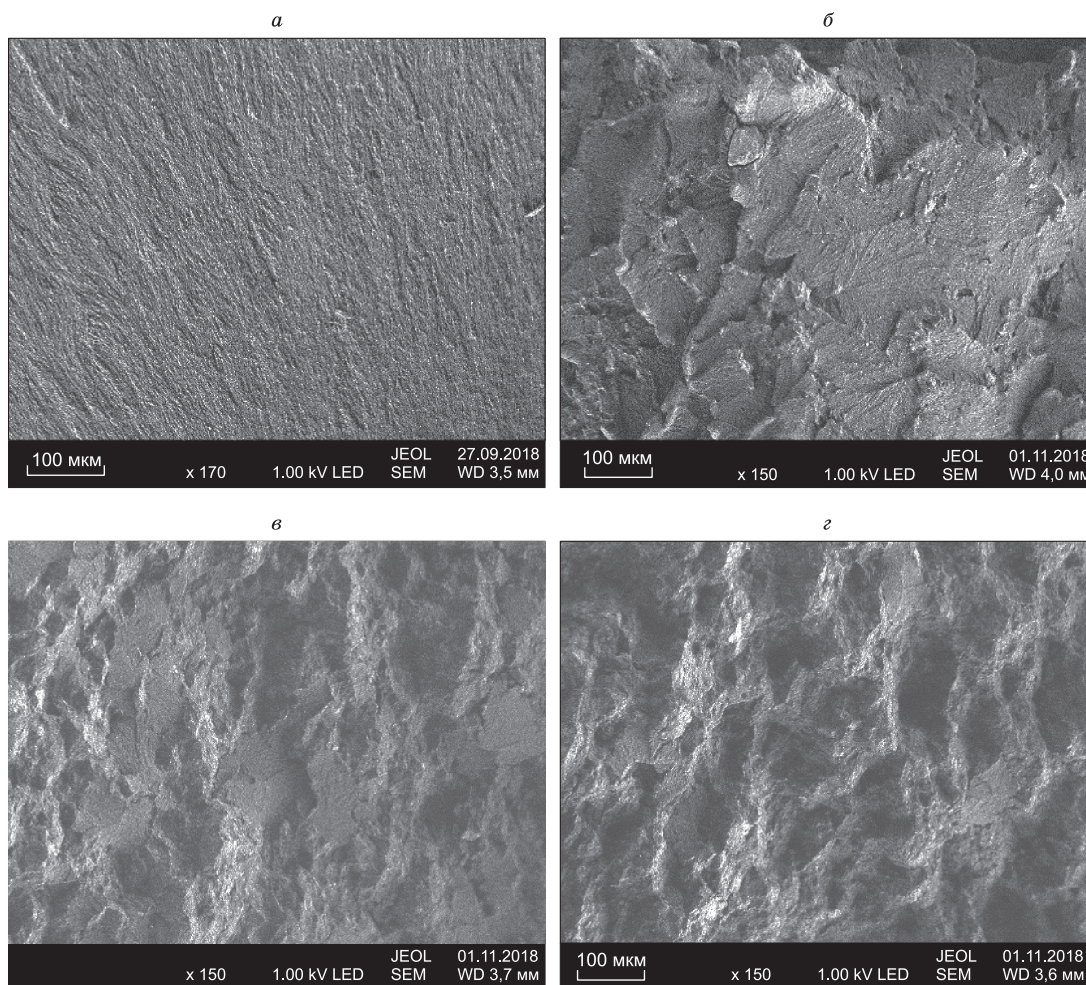


Рис. 3. Микрофотография надмолекулярной структуры при $\times 300$: *a* – исходный СВМПЭ; *б* – СВМПЭ + 0,5 масс. % оММТ; *в* – СВМПЭ + 1 масс. % оММТ; *г* – СВМПЭ + 2 масс. % оММТ.

Fig. 3. Microphotographs of supramolecular structure at $\times 300$: *a* – initial UHMWPE; *б* – UHMWPE + 0,5 wt. %; *в* – UHMWPE + 1 wt. %; *г* – UHMWPE + 2 wt. %.

Результаты исследований ПКМ методом ДСК

The results of studies of PCM by the DSC method

Композит	$T_{пл}$, °C	$\Delta H_{пл}$, Дж/г	Степень кристалличности, %
Исходный СВМПЭ	127,7	171,1	58,4
СВМПЭ/0,5 % оММТ	128,0	167,3	57,1
СВМПЭ/1 % оММТ	128,0	166,0	56,7
СВМПЭ/2 % оММТ	127,7	164,2	56,0

Примечание. $T_{пл}$, °C – температура плавления; $\Delta H_{пл}$, Дж/г, – энтальпия плавления.

Note. $T_{пл}$, °C, – melting point; $\Delta H_{пл}$, J/g, – melting enthalpy.

зования сферолитных структур (1 и 2 масс. %) и формирование участков с рыхлой структурой [13, 14]. Такой характер изменения структуры ПКМ согласуется с полученными результатами исследований по физико-механическим и триботехническим характеристикам ПКМ: при этих концентрациях наполнителя было отмечено некоторое снижение механических показателей.

С целью оценки уровня межфазного взаимодействия СВМПЭ с частицами оММТ проведены исследования термодинамических свойств методом ДСК (см. таблицу).

Как видно из таблицы, температура плавления всех образцов практически не меняется, остается в пределах погрешности измерения, отсюда следует, что введение наполнителя и его модификация не приводят к заметному изменению структурного состояния композитов на основе СВМПЭ.

Сравнение значений энтальпии плавления исследуемых композитов свидетельствует о постепенном снижении теплоты плавления и степени кристалличности с увеличением содержания оММТ. Обычно снижение этих параметров свидетельствует о понижении подвижности макромолекул полимера и скорости кристаллизации за счет взаимодействия СВМПЭ с модифицированной поверхностью частиц органоглины. Кроме этого, увеличение концентрации наполнителя в полимере приводит к замедлению процессов кристаллизации с увеличением вязкости композиционной смеси, что способствует образованию более неоднородной надмолекулярной структуры ПКМ (рис. 3) [12].

Закключение

На основании проведенных исследований показано, что использование органофункционального монтмориллонита в качестве наполнителя для СВМПЭ способствует повышению проч-

ности на 23 %, износостойкости в – 1,5 раза при сохранении стабильных и низких значений коэффициента трения материалов. Термодинамические исследования методом ДСК показали, что введение оММТ в СВМПЭ не приводит к изменению температуры плавления. Более того, с увеличением содержания наполнителя в полимере происходит уменьшение значений энтальпии плавления и степени кристалличности на ≈ 4 %, по сравнению с исходным СВМПЭ, что связано с увеличением вязкости расплава композиционной смеси.

Литература

1. Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Васильев А.П., Алексеев А.Г., Дьяконов А.А. Влияние термической обработки на надмолекулярную структуру порошка политетрафторэтилена // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2016. № 4 (54). С. 48–57.
2. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие/ под ред. А. А. Берлина. СПб.: Профессия, 2008. С. 54–55.
3. Wang H., Xu L., Zhang M., Li R., Xing Z., Hu J., Wang M., Wu G. More wear-resistant and ductile UHMWPE composite prepared by the addition of radiation cross-linked UHMWPE powder // Journal of Applied Polymer Science. 2017. V. 134, N 13. DOI: 10.1002/app.44643
4. Селютин Г.Е., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенская Е.Н., Захаров В.А., Никитин В.Е., Полубояров В.А. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18, № 3. С. 375–388.
5. Слепцова С.А., Кириллина Ю.В., Лазарева Н.Н., Макаров М.М. Разработка и исследование полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и слоистых силикатов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2015. № 6 (50). С. 95–104.
6. Чвалун С.Н., Новокионова Л.А., Коробко А.П., Бревнов П.Н. Полимер-силикатные нанокompозиты:

физико-химические аспекты синтеза полимеризацией in situ // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 5. С. 52–57.

7. Третьякова В. Д., Бахов Ф. Н., Демиденко К. В. Использование современных композиционных материалов на основе слоистых силикатов в автомобильной промышленности // Вестник евразийской науки. 2011. №4 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennyh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-sloistyh-silikatov-v-avtomobilnoy-promyshlennosti> (Дата обращения: 14. 03. 2019)

8. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учеб. пособие для студентов. М.: МГУ, 2010. 68 с.

9. Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Песецкий С.С., Миронова С.Н., Саввинова О.Р., Спиридонов А.М. Исследование физико-механических и триботехнических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного органоглиной // Полимерные материалы и технологии, 2018. Т. 4, № 3. С. 57–65.

10. Третьякова В. Д., Бахов Ф. Н., Демиденко К. В. Повышение характеристик композиционных материалов на основе полиамида посредством модификации наночастицами монтмориллонита // Вестник евразийской науки. 2011. № 4 (9). URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf> (дата обращения 20.02.2018)

11. Микитаев А.К., Каладжян А.А., Леднев О.Б., Микитаев М.А. Нанокompозитные полимерные материалы на основе органоглин // Исследовано в России. 2004. Т. 7. С. 912–922. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nanokompозитnye-polimernye-materialy-na-osnove-organoglin> (дата обращения: 20.03.2019).

12. Охлопкова А.А., Петрова П.Н., Попов С.Н., Слепцова С.А. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена. Российский химический журн. 2008. Т. 52, № 3. С. 147–152.

13. Охлопкова А.А., Охлопкова Т.А., Борисова Р.В. Управление процессами структурообразования в полимерных композиционных материалах на основе СВМПЭ // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. №. 2 (78). С. 73–78.

14. Panin S.V., Kornienko L.A., Suan T.N., Ivanova L.R., Korchagin M.A., Shil'ko S.V., Pleskachevskii Y.M. Wear resistance of composites based on hybrid UHMWPE–PTFE matrix: Mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Journal of Friction and Wear, 2015. V. 36. N 3. P. 249–256. DOI: 10.3103/S1068366615030113

References

1. Ohlopkova A. A., Struchkova T.S., Vasil'ev A.P., Alekseev A.G., D'yakov A.A. Vliyanie termicheskoy obrabotki na nadmolekulyarnuyu strukturu poroshka politetraforehtilena // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. 2016. N 4 (54). P. 48–57.

2. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S. Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologia. SPb: Professia, 2011. P. 54–55.

3. Wang H., Xu L., Zhang M., Li R., Xing Z., Hu J., Wang M., Wu G. More wear-resistant and ductile UHMWPE composite prepared by the addition of radiation cross-linked UHMWPE powder / Journal of Applied Polymer Science. 2017. V. 134, N 13. DOI: 10.1002/app.44643

4. Selyutin G.E., Gavrilov Yu. Yu., Voskresenskaya E.N., Zaharov V.A., Nikitin V.E., Poluboyarov V.A. Kompozitsionnye materialy na osnove sverhvysokomolekulyarnogo poliehtilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2010. V. 18, N 3. P. 375–388.

5. Sleptsova S.A., Kirillina Yu.V., Lazareva N.N., Markarov M.M. Razrabotka i issledovanie polimernyh kompozitov na osnove politetraforehtilena i sloistyh silikatov // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. 2015. N 6 (50). P. 95–104.

6. Chvalun S.N., Novokshonova L.A., Korobko A.P., Brevnov P.N. Polimer-silikatnye nanokompозиты: fiziko-himicheskie aspekty sinteza polimerizatsii in situ // Rossijskij khimicheskij zhurnal. 2008. V. 52, N 5. P. 52–57.

7. Tret'yakova V. D., Bahov F. N., Demidyonok K. V. Ispol'zovanie sovremennyh kompozitsionnyh materialov na osnove sloistyh silikatov v avtomobil'noy promyshlennosti // Vestnik evrazijskoj nauki. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennyh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-sloistyh-silikatov-v-avtomobilnoy-promyshlennosti> (accessed 14 March 2019).

8. Bogdanova Yu.G. Adgeziya i ee rol' v obespechenii prochnosti polimernyh kompozitov. Posobie dlya studentov. M.: Moscow State University Press, 2010. 68 p.

9. Danilova S.N., Savvinova O.R., Spiridonov A.M. Issledovanie fiziko-mehaniicheskikh i tribotekhnicheskikh svoystv sverhvysokomolekuljarnogo polijetilena, modifitsirovanogo organoglinoj // Polimernye materialy i tekhnologii. 2018. V. 4, N 3. P. 57–65.

10. Tret'yakova V.D., Bahov F.N., Demidyonok K.V. Povyshenie harakteristik kompozitsionnyh materialov na osnove poliamida posredstvom modifikatsii nanochastitsami montmorillonita // Vestnik evrazijskoj nauki. 2011. N 4 (9). Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf>. (accessed 20 February 2018).

11. Mikitaev A.K., Kaladzhyan A.A., Lednev O.B., Mikitaev M.A. Nanokompозитные полимерные материалы на основе органоглин // Исследовано в России. 2004. V. 7. P. 912–922. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nanokompозитnye-polimernye-materialy-na-osnove-organoglin> (accessed 20 March 2019).

12. Okhlopkova A.A., Petrova P.N., Popov S.N., Sleptsova S.A. Polimernye kompozitsionnye materialy tribotekhnicheskogo naznacheniya na osnove politetraforehtilena // Rossijskij khimicheskij zhurnal. 2008. V. 52, N 3. P. 147–152.

13. Okhlopkova A.A., Okhlopkova T.A., Borisova R.V. Upravlenie processami strukturoobrazovaniya v polimernyh kompozitsionnyh materialah na osnove SVMPEH //

Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. 2015. N 2 (78). P. 73–78.

14. Panin S.V., Kornienko L.A., Suan T.N., Ivanova L.R., Korchagin M.A., Shil'ko S.V., Pleskachevskii Y.M. Wear

resistance of composites based on hybrid UHMWPE–PTFE matrix: Mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Journal of Friction and Wear. 2015. V. 36. N 3. C. 249–256. DOI: 10.3103/S1068366615030113

Поступила в редакцию 16.05.2019

Принята к публикации 10.07.2019

Об авторах

ДАНИЛОВА Сахаяна Николаевна, аспирант химического отделения, Институт естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского 58,

<https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>, dsn.sakhayana@mail.ru

АБАКУНОВА Елена Викторовна, аспирант химического отделения, Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, заведующая учебно-научной лабораторией «Полимерные нанокompозиты», 677000, г. Якутск, ул. Белинского 58,

<https://orcid.org/0000-0001-5008-7536>, e.abakunova@mail.ru

СЛЕПЦОВА Сардана Афанасьевна – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Технологии полимерных нанокompозитов», 677000, г. Якутск., ул. Кулаковского, 46,

<https://orcid.org/0000-0003-2396-3267>, ssard@yandex.ru

ИВАНОВ Афанасий Ньюргунович, студент группы химического отделения, Институт естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, 46,

<https://orcid.org/0000-0002-9009-3778>, differeo@gmail.com

About authors

DANILOVA Sakhayana Nikolaevna, Graduate Student, Chemical Department, Institute of Natural Science, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>, dsn.sakhayana@mail.ru

ABAKUNOVA Elena Viktorovna, Graduate Students, Chemical Department, Institute of Natural Science, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Head of the Scientific Research Laboratory «Polymer Nanocomposites», 58 Belinskogo str., Yakutsk, 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5008-7536>, e.abakunova@mail.ru

SLEPTSOVA Sardana Afanasyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Educational, Scientific and Technological Laboratory «Technology of Polymer Nanocomposites», 46 Kulakovskogo str., Yakutsk, 677000, Russia,

<https://orcid.org/0000-0003-2396-3267>, ssard@yandex.ru

IVANOV Afanasy Nyurgunovich, student, Chemical Department, Institute of Natural Science, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 46 Kulakovskogo str., Yakutsk, 677000, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-9009-3778>, differeo@gmail.com.

Информация для цитирования

Данилова С. Н., Абакунова Е.В., Слепцова С. А., Иванов А. Н., Джин-Хо Чо. Полимерные композиционные материалы на основе СВМПЭ, наполненные модифицированным монтмориллонитом // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 126–132. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-12>

Citation

Danilova S. N., Abakunova E. V., Sleptsova S. A., Ivanov A. N., Jin-Ho Cho. Polymer composite materials based on UHMWPE filled with modified of montmorillonite // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 126–132. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-12>