

С. В. Тутов, В. В. Бушков, К. Б. Вернигоров, В. И. Машуков,
С. Н. Русанова, С. А. Ефремов, М. В. Сайфутдинова,
С. С. Ахтямова, И. А. Загидуллина, Ю. М. Казаков, О. В. Стоянов

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО УГЛЕРОД-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОЗИТА НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ К СТАЛИ КОМПОЗИЦИЙ С МАЛЕИНИЗИРОВАННЫМИ ПОЛИЭТИЛЕНОМ И СОПОЛИМЕРОМ ЭТИЛЕНА С ВИНИЛАЦЕТАТОМ

Ключевые слова: привитые сополимеры, малеинизированные полиолефины, наполнитель, модификаторы, адгезионная прочность.

В настоящее время малеинизированные полиолефины широко применяются в качестве адгезионных добавок для улучшения совместимости полимеров и наполнителей, в смесях полярных и неполярных полимеров, для повышения адгезии к различным субстратам. Научные исследования направлены на расширение ассортимента полиолефинов, модифицированных малеиновым ангидридом, усовершенствование технологических процессов прививки ангидрида к макромолекулам, разработку композиционных материалов на основе привитых сополимеров полиолефинов и ангидридов. Для решения последней задачи используют новые, ранее не используемые наполнители и другие добавки, позволяющие достигнуть требуемых эксплуатационных показателей. Было исследовано влияние углерод-минерального наполнителя (УМН) на адгезионные характеристики смеси линейного полиэтилена низкого давления и малеинизированного полиэтилена, а также сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА), модифицированным малеиновым ангидридом. Установлено, что введение УМН в исследованные полимеры приводит к экстремальному росту адгезионной прочности к стали на 26 % (для смеси полиэтиленов) и в 1,5 раза (для малеинизированного СЭВА). Использование кремнийорганического модификатора 3-глицидоксипропилтриметоксисилана для малеинизированного сэвилена увеличивает прочность адгезионного контакта со сталью на 51 %. Совместное введение глицидоксисилана и УМН в малеинизированный сэвилен позволяет увеличить адгезию на 8 %, чем при использовании только 10 % мас. глицидоксисилана. Учитывая, что углерод-минеральный наполнитель является отходом добычи углистоого сланца и, соответственно, имеет низкую стоимость, его использование для разработки адгезионных материалов антикоррозионной защиты магистральных стальных трубопроводов представляется перспективным. Его использование позволит повысить эксплуатационные характеристики адгезионных композиций, а также решать задачи снижения экологической нагрузки на окружающую среду за счет использования отходов горно-добывающей промышленности.

S. V. Tutov, V. V. Bushkov, K. B. Vernigоров, V. I. Mashukov,
S. N. Rusanova, S. A. Efremov, M. V. Saifutdinova,
S. S. Akhtyamova, I. A. Zagidullina, Yu. M. Kazakov, O. V. Stoyanov

THE EFFECT OF A COMPLEX CARBON-MINERAL COMPOSITE ON THE ADHESIVE STRENGTH TO STEEL OF COMPOSITIONS WITH MALEINIZED POLYETHYLENE AND ETHYLENE-VINYL ACETATE COPOLYMER

Key words: grafted copolymers, maleinized polyolefins, filler, modifiers, adhesive strength.

Currently, maleinated polyolefins are widely used as adhesive additives to improve the compatibility of polymers and fillers, in mixtures of polar and nonpolar polymers, to increase adhesion to various substrates. Scientific research is aimed at expanding the range of polyolefins modified with maleic anhydride, improving the technological processes of grafting anhydride to macromolecules, and developing composite materials based on grafted copolymers of polyolefins and anhydrides. To solve the latter problem, new, previously unused fillers and other additives are used to achieve the required performance. The effect of a carbon-mineral filler (CMF) on the adhesive characteristics of a mixture of linear low-pressure polyethylene and maleinized polyethylene, as well as an ethylene copolymer with vinyl acetate (EVA) modified with maleic anhydride, was studied. It was found that the introduction of CMF into the studied polymers leads to an extreme increase in the adhesive strength to steel by 26 % (for a mixture of polyethylene) and 1.5 times (for maleated carbon fiber). The use of the organosilicon modifier 3-glycidoxypopyltrimethoxysilane for maleinized savylene increases the strength of adhesive contact with steel by 51 %. The combined introduction of glycidoxysilane and CMF into maleinized EVA allows for an increase in adhesion by 8 % compared to using only 10 % by weight of glycidoxysilane. Considering that carbon-mineral filler is a waste product of coal shale mining and, accordingly, has a low cost, its use for the development of adhesive materials for corrosion protection of main steel pipelines seems promising. Its use will improve the operational characteristics of adhesive compositions, as well as solve the problems of reducing the environmental burden on the environment through the use of waste from the mining industry.

Введение

Полиэтиленовые защитные антикоррозионные покрытия трубопроводов широко применяются в мировой практике благодаря возможности их нанесения высокопроизводительным экструзионным

способом и превосходным эксплуатационным свойствам. Одной из проблем при разработке полиолефиновых адгезионных материалов является низкая адгезия данных полимеров к субстрату, либо ее практически полное отсутствие, что обусловлено

отсутствием полярных групп в их составе. Поэтому для создания композиций чаще всего используют смеси полиэтилена (ПЭ) с полярными сополимерами этилена, либо смеси сополимеров [1, 2]

Наиболее удобным способом повышения полярности полиолефинов является их функционализация путем радикальной прививки к макромолекулам полимера малеинового ангидрида [3, 4].

В настоящее время различные фирмы выпускают достаточно широкий ассортимент малеинизированных полиэтиленов (ПЭгМА), используемых как добавки к полиолефинам для увеличения адгезии композитов к различным субстратам [5-7], как компатибилизаторы в смесях полярных и неполярных полимеров [8, 9], а также в качестве промежуточного (клеевого) слоя в многослойных полимерных пленках [10, 11]. Следует отметить, что ПЭгМА практически не используется в качестве индивидуального полимера, из-за его недостаточной прочности и высокой стоимости.

Помимо малеинизированного полиэтилена в качестве компатибилизаторов полимерных смесей используются и сополимеры этилена с винилацетатом с привитыми малеиновым ангидридом [12-14].

Кроме того, для повышения адгезии полиолефиновых покрытий к металлу используют такие недефицитные наполнители, такие как тальк и оксид алюминия [1, 2, 15, 16].

В работе [17] было показано, что аналогичными адгезионно активными свойствами обладает и углерод-минеральный наполнитель (УМН), являющийся отходом горнодобывающей промышленности.

Целью данной работы является исследование влияния комплексного углерод-минерального наполнителя на адгезионные характеристики отечественного малеинизированного этилен-винилацетатного сополимера (СЭВАгМА) и смесей линейного полиэтилена низкой плотности и ПЭгМА.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были использованы: линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП) марки LL30200 FE (ПАО «Сибур»), малеинизированный полиэтилен марки Fusabond E100 (DuPont), сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА) марки Сэвилен 118008-340 (ПАО «Сибур») модифицированный малеиновым ангидридом по методике, приведенной в работе [18]. Содержание привитого малеинового ангидрида в сополимере составляет 1% мас.

В качестве наполнителя был использован углерод-минеральный наполнитель (УМН), содержащий 63,0 – 65,0 % мас. углерода, 28,0 – 31,0 % мас. оксида кремния и оксиды металлов – остальное. Средний размер частиц – менее 30 мкм.

В качестве модификатора был использован 3-глицидоксипропилтриметоксисилан (ГС) производства Dow Inc. $C_9H_{20}O_5Si$, молекулярная масса – 236,34 г/моль, плотность 1070 кг/м³, показатель преломления $n_{20}^D = 1,4367$.

Полимерные композиции с готовили смешением в расплаве в смесителе Brabender в течение 10 минут после загрузки всех компонентов. Температура смешения 150°C. Скорость вращения роторов 150 об/мин.

Образцы для адгезионных испытаний формировали методом прямого прессования (ГОСТ 12019-2021) на пластинах из стали Ст3 при 220 °C в течении 10 мин. После прессования все образцы подвергались кондиционированию при комнатной температуре в течение суток (ГОСТ 12423-2013).

Адгезионную прочность к стали марки Ст3 оценивали методом отслаивания от подложки под углом 180° на разрывной машине TestP 108 через сутки после формирования адгезионного соединения по ГОСТ 411-77 (метод А).

Результаты и их обсуждение

Малеинизированные полиэтилены в адгезионных композиция на основе полиэтиленов высоко и низкого давления позволяют существенно повысить прочность адгезионного контакта как с эпоксидному праймером [18], нанесенному на металл, так и непосредственно к стали (рис.1), что обуславливает их успешное применение в трех- и двухслойных конструкциях защитных антикоррозионных покрытий трубопроводов.

Адгезионная прочность смеси, содержащей 25% мас. малеинизированного полиэтилена марки Fusabond E100 составляет 27кН/м (рис. 1), что в 22,5 раза выше адгезии чистого ПЭ и на 17,4% выше адгезии Fusabond E100. Введение более 20-30% мас. ПЭгМА в полиэтилены не целесообразно, так как не наблюдается дальнейшего увеличения адгезионной прочности композиции в контакте сталью Ст3.

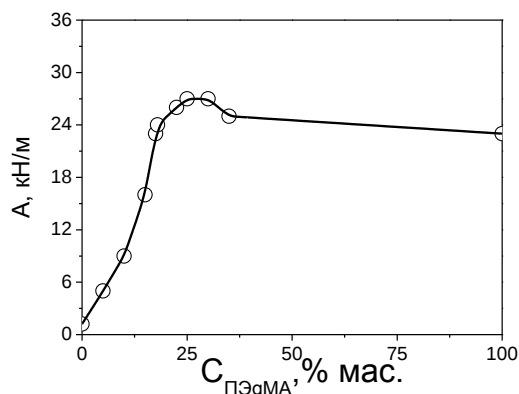


Рис. 1 – Зависимость адгезионной прочности к стали для смеси ЛПЭНД/ПЭгМА от содержания ПЭгМА

Fig. 1 – Dependence of the adhesive strength to steel for the linear low-density polyethylene (LLDPE) / maleated polyethylenes (PEgMA) blend on the PEgMA content

Ранее нами [17] было установлено, что введение УМК в полиэтилен и сополимеры этилена с винилацетатом, содержащих различные количества сложноэфирных групп, благоприятно сказывается на адгезии этих полимеров к стали, причем

концентрационная зависимость адгезионной прочности имеет экстремальный характер с максимумом при введении 10% мас. наполнителя.

Поэтому представляло интерес влияние углерод-минерального наполнителя на адгезионную прочность смесей ЛПЭНП с малеинизированным ПЭ. Для этого эксперимента была выбрана смесь, содержащая 25% мас. ПЭгМА, так как она обладает максимальной адгезией к стали.

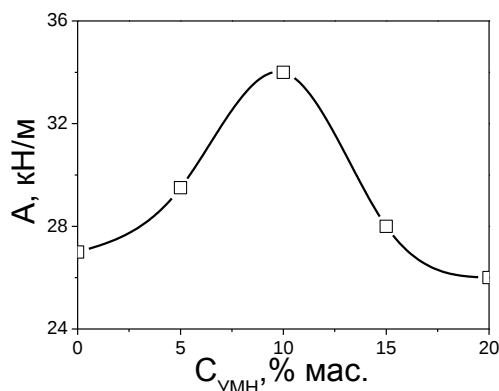


Рис. 2 – Зависимость адгезионной прочности к стали для смеси ЛПЭНД/ПЭгМА от содержания УМН

Fig. 2 – Dependence of the adhesive strength to steel for the LLLDPE/PEgMA blend on the carbon-mineral filler (CMF) content

Проведенные исследования показали (рис. 2), что введение УМН в смесь линейного и функционализированного полиэтиленов ожидаемо приводит к экстремальному повышению адгезионной прочности смеси в контакте со сталью на 26%. Это представляет несомненный интерес для разработки композиционных материалов, поскольку в работах [19-21] выявлено термостабилизирующее действие УМН по отношению к полиэтилену.

Так как УМН экстремально повышает адгезию СЭВА и смесей, содержащих ПЭгМА, было исследовано влияние этого минерального наполнителя на адгезию к стали СЭВА с привитым малеиновым ангидридом. Как видно из данных, представленных на рисунке 3, адгезия СЭВАгМА при введении 10% мас. УМН возрастает в 1,5 раза по сравнению с ненаполненным полимером.

Известно, что 3-глицидоксипропил-триметоксисилан позволяет улучшить адгезионные характеристики как сополимеров этилена с винилацетатом, так и терполимеров этилен/винилацетат/малеиновый ангидрид в контакте со сталью, полиэпоксидом и полиэтилентерефтралатом [22]. Поэтому мы предположили, что аналогичное действие он будет проявлять по отношению к СЭВАгМА.

Исследования показали (рис. 4), что при модификации привитого сополимера СЭВА и малеинового ангидрида глицидоксисиланом наблюдается зависимость адгезионной прочности к

стали, аналогичная по своему характеру данным, приведенным в [22].

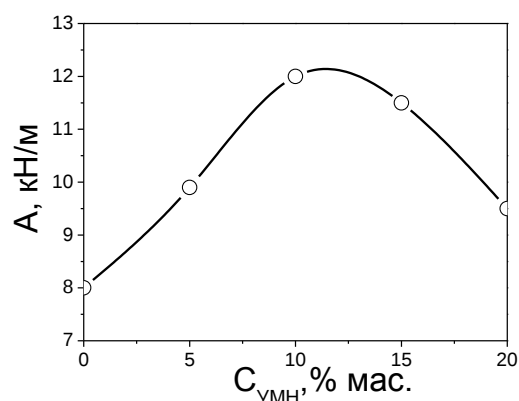


Рис. 3 – Зависимость адгезионной прочности к стали для СЭВАгМА от содержания УМН

Fig. 3 – Dependence of the adhesive strength to steel for ethylene-vinyl acetate copolymer (SEVAgMA) on the CMF content

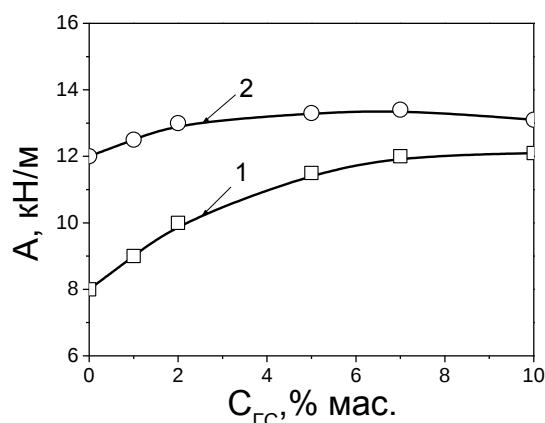


Рис. 4 – Зависимость адгезионной прочности к стали для СЭВАгМА от содержания 3-глицидоксипропилтриметоксисилана: 1 – ненаполненный полимер, 2 – полимер, наполненный 10 % мас. УМН

Fig. 4 – Dependence of the adhesive strength to steel for SEVAgMA on the content of 3-glycidoxypyrroltrimethoxysilane: 1 – unfilled polymer, 2 – polymer filled with 10 wt.% CMF

Увеличение прочности адгезионного контакта со сталью при введении 10% мас. ГС в полимер составляет 51 %. Одновременное введение глицидоксисилана и углерод-минерального наполнителя в СЭВАгМА также приводит к возрастанию адгезии композиции к стали, однако при более высоких показателях адгезионной прочности увеличение происходит менее интенсивно, так как часть модификатора сорбируется поверхностью УМН.

Адгезионная прочность малеинизированного СЭВА при совместном введении 10 % мас. ГС и 10 %

мас. УМН на 8 % выше, чем при введении только 10 % мас. глицидоксилиана и в 1,7 раза выше по сравнению с исходным СЭВАгМА.

Таким образом, использование углерод-минерального наполнителя, являющегося отходом добычи углистых сланцев, целесообразно для разработки эффективных адгезионных материалов для антикоррозионной защиты стальных конструкций как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Заключение

Проведенные исследования показали, что комплексный углерод-минеральный наполнитель является перспективным с точки зрения разработки адгезионных материалов с малеинизированными полиолефинами для антикоррозионной защиты стальных трубопроводов, существенно повышая адгезионную прочность к стали композиций с его использованием. СЭВАгМА выпускается опытными партиями на ООО «Комплексные системы изоляции» (г. Новокуйбышевск).

Исследование выполнено в рамках Государственного задания №075-00021-26-00 от 12.01.2026 (FZSG-2026-0003).

Литература

- 1.О.В. Стоянов. Дис. док. техн. наук, КГТУ, Казань, 1997. 337 с.
- 2.Р.М. Хузаханов. Дис. док. техн. наук, КНИТУ, Казань, 2013. 221 с. EDN: EBNKWU.
- 3.М. Shahbazi, Y. Jahani, *Polyolefins J.*, **8**, 1, 11-19 (2021). DOI: 10.22063/poj.2020.2745.1163;
- 4.А.Е. Заикин, С.В. Тутов, К.Б. Вернигоров и др., *Вестник технологического университета*, **27**, 7, 5-17 (2024); DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_7_5;
- 5.Р. Watanabe, A. Sugahara, H. Hagihara et al., *Compos. Sci. Technol.*, **199**, 108379, 1-6 (2020), DOI: 10.1016/j.compscitech.2020.108379;
- 6.M.S.F. Samsudin, M. Dell'Olio, K.H. Leong et al., *Progress Organic Coatings*, **99**, 157-165 (2016), DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.05.013;
- 7.C. Dell'Olio1, J. Zhang, K.H. Leong et al., *Multifunctional Materials*, **4**, 1, 1-13 (2021), DOI: 10.1088/2399-7532/abdfb6;
- 8.E.G. Ribeiro dos Anjos, E.H. Backes, J. Marini, et al., *J. Polym. Res.*, **26**, 134, 1-10 (2019), DOI: 10.1007/s10965-019-1800-y;
- 9.F.H. Asl, M.R. Saeb, S.H. Jafari et al., *J. of Appl. Polym. Sci.*, **135**, 16, 46144 (2018), DOI: 10.1002/APP.46144;
10. B.B. Turriziani, M.A.F. Perez, P.H.M. Kiyataka et al., *J. Polym. Res.*, **30**, 194, 1-11 (2023), DOI: 10.1007/s10965-023-03584-y;
11. B.B. Turriziani, R.P. Vieira, L.M. Júnior et al., *J. Polym. Environment*, **32**, 1393–1405 (2024), DOI: 10.1007/s10924-023-03057-9;
12. S.W. Hwang, H.Ch. Ryu, S.W. Kim et al., *J. of Appl. Polym. Sci.*, **125**, 4, 2732–2739 (2012), DOI: 10.1002/app.36592;
13. V. Ramesh, M. Biswal, S. Mohanty et al., *Materials Express*, **4**, 6, 499–507 (2014), DOI: 10.1166/mex.2014.1198;
14. B.C. Luna, E. da Silva Barbosa Ferreira, D.D. Siqueira et al., *Polym. Bull.*, **79**, 9, 7323–7346 (2022), DOI: 10.1007/s00289-021-03856-x;
15. Л.Я. Малерс, М.М. Калнинь, В. кн. *Модификация полимерных материалов*. РПИ, Рига, 1976. С.32-46.
16. Л.Я. Малерс, А.Ю. Вапкалис, А.Я. Янсонс, В. кн. *Модификация полимерных материалов*. РПИ, Рига, 1989. С. 4-13.
17. V.V. Bushkov, K.B. Vernigorov, S.N. Rusanova et al., *Polym. Sci., Ser. D*, **18**, 2, 245–249 (2025). DOI: 10.1134/S1995421225700017;
18. А.Е. Заикин, Н.Е. Темникова, С.В. Тутов и др. *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 7, 2-9 (2026). DOI: 10.31044/1994-6260-2026-0-7-2-9;
19. V.V. Bushkov, K.B. Vernigorov, S.N. Rusanova et al., *Polym. Sci., Ser. D*, **18**, 2, 445–447 (2025). DOI: 10.1134/S1995421225700352;
20. K.B. Vernigorov, V.V. Bushkov, V.I. Mashukov et al. *Polym. Sci. Ser. D*, **19**, 1, 125–129 (2026). DOI: 10.1134/S19954212267003464
21. С.Н. Русанова, К.Б. Вернигоров, В.В. Бушков и др. *Пласт. массы*. 4, 48-52 (2024). DOI: 10.35164/0554-2901-2024-04-48-52.
22. С.Н. Русанова. Дис. док. хим. наук, КНИТУ, Казань, 2017. 219 с. EDN: WGIVRJ.

References

- 1.O.V. Stoyanov. Dissertation of Doctor of Technical Sciences, KSTU, Kazan,1997. 337 с.
- 2.R.M. Khuzakhanov. Dissertation of Doctor of Technical Sciences, KNRTU, Kazan,2013. 221 с. EDN: EBNKWU.
- 3.М. Shahbazi, Y. Jahani, *Polyolefins J.*, **8**, 1, 11-19 (2021). DOI: 10.22063/poj.2020.2745.1163;
- 4.А.Е. Zaikin, C.V. Tutov, K.B. Vernigorov et al., *Herald of the Technological University*, **27**, 7, 5-17 (2024); DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_7_5;
- 5.R. Watanabe, A. Sugahara, H. Hagihara et al., *Compos. Sci. Technol.*, **199**, 108379, 1-6 (2020), DOI: 10.1016/j.compscitech.2020.108379;
- 6.M.S.F. Samsudin, M. Dell'Olio, K.H. Leong et al., *Progress Organic Coatings*, **99**, 157-165 (2016), DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.05.013;
- 7.C. Dell'Olio1, J. Zhang, K.H. Leong et al., *Multifunctional Materials*, **4**, 1, 1-13 (2021), DOI: 10.1088/2399-7532/abdfb6;
- 8.E.G. Ribeiro dos Anjos, E.H. Backes, J. Marini, et al., *J. Polym. Res.*, **26**, 134, 1-10 (2019), DOI: 10.1007/s10965-019-1800-y;
- 9.F.H. Asl, M.R. Saeb, S.H. Jafari et al., *J. of Appl. Polym. Sci.*, **135**, 16, 46144 (2018), DOI: 10.1002/APP.46144;
10. B.B. Turriziani, M.A.F. Perez, P.H.M. Kiyataka et al., *J. Polym. Res.*, **30**, 194, 1-11 (2023), DOI: 10.1007/s10965-023-03584-y;
11. B.B. Turriziani, R.P. Vieira, L.M. Júnior et al., *J. Polym. Environment*, **32**, 1393–1405 (2024), DOI: 10.1007/s10924-023-03057-9;
12. S.W. Hwang, H.Ch. Ryu, S.W. Kim et al., *J. of Appl. Polym. Sci.*, **125**, 4, 2732–2739 (2012), DOI: 10.1002/app.36592;
13. V. Ramesh, M. Biswal, S. Mohanty et al., *Materials Express*, **4**, 6, 499–507 (2014), DOI: 10.1166/mex.2014.1198;
14. B.C. Luna, E. da Silva Barbosa Ferreira, D.D. Siqueira et al., *Polym. Bull.*, **79**, 9, 7323–7346 (2022), DOI: 10.1007/s00289-021-03856-x;
15. L.Ya. Malers, M.M. Kalnin', In: *Modifikatsiya polimernykh materialov*. RPI, Riga, 1976. pp. 32-46.
16. L.Ya. Malers, A.Yu. Vapkalis, A.Ya. Jansons, In: *Modifikatsiya polimernykh materialov*. RPI, Riga, 1989, pp. 4-5.
17. V.V. Bushkov, K.B. Vernigorov, S.N. Rusanova et al., *Polym. Sci., Ser. D*, **18**, 2, 245–249 (2025). DOI: 10.1134/S1995421225700017;

18. A.E. Zaikin, N.E. Temnikova, S.V. Tutov et al. *Vse Materialy. Encyclopedic Reference Book*. 7, 2-9 (2026). DOI: 10.31044/1994-6260-2026-0-7-2-9;
19. V.V. Bushkov, K.B. Vernigorov, S.N. Rusanova et al., *Polym. Sci., Ser. D* **18**, 2, 445–447 (2025). DOI: 10.1134/S1995421225700352;
20. K.B. Vernigorov, V.V. Bushkov, V.I. Mashukov et al. *Polym. Sci. Ser. D* **19**, 1, 125–129 (2026). DOI: 10.1134/S19954212267003464
21. S.N. Rusanova, K.B. Vernigorov, V.V. Bushkov et al. *Plasticheskie Massy*, 4, 48-52 (2024). DOI: 10.35164/0554-2901-2024-04-48-52.
22. S.N. Rusanova. Dissertation of Doctor of Chemical Sciences, KNRTU, Kazan, 2017. 219 с. EDN: WGIVRJ.

© **С. В. Тутов** – директор, «НИОКР и инновации», ООО «СИБУР», Москва, Россия; **В.В. Бушков** – директор, «Развитие и инжиниринг новых технологий», ООО «СИБУР»; **К. Б. Вернигоров** – к.х.н., генеральный директор, ООО «Сибур ПолиЛаб», Москва, Россия; **В. И. Машуков** – к.х.н., директор «Прикладные разработки», ООО «Сибур ПолиЛаб»; **С. Н. Русанова** – д.х.н., доцент, доцент каф. Технологии пластических масс (ТПМ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, RusanovaSN@corp.knrtu.ru; **С. А. Ефремов** – академик КазНАЕН, д.х.н., проф. каф. Аналитическая, коллоидная химия и технология редких элементов, Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби; г.н.с., НИА РК, Алматы, Казахстан; **М. В. Сайфутдинова** – ст преподаватель каф. Технологии переработки полимерных и композиционных материалов (ТППКМ), КНИТУ; **С. С. Ахтямова** – к.пед.н., доцент, доцент каф. ТППКМ, КНИТУ; **И. А. Загидуллина** – к.т.н., доцент, доцент каф. ТППКМ, КНИТУ; **Ю. М. Казаков** – д.т.н., доцент, профессор каф. Химии и технологии переработки эластомеров, ректор, КНИТУ; **О. В. Стоянов** – д.т.н., профессор, советник при ректорате, и.о. зав. каф. ТПМ, КНИТУ, ov_stoyanov@mail.ru.

© **S. V. Tutov** – Director, R&D and Innovations, SIBUR LLC, Moscow, Russia; **V. V. Bushkov** – Director, Business Development and New Processes Engineering, SIBUR LLC; **K. B. Vernigorov** – PhD (Chemical Sci.), General Director, Sibur PolyLab LLC, Moscow, Russia; **V. I. Mashukov** – PhD (Chemical Sci.), Director of Applied Developments, Sibur PolyLab LLC; **S. N. Rusanova** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plastics Technology (PT), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, RusanovaSN@corp.knrtu.ru; **S. A. Efremov** – Academician of KazNANS, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Analytical, colloidal chemistry and technology of rare elements, Al-Farabi Kazakh National University; Chief Researcher, National Engineering Academy of RK, Almaty, Kazakhstan; **M. V. Saifutdinova** – Senior lecturer of the Department of Polymers and Composite Materials Processing Technology (PCMPT), KNRTU; **S. S. Akhtyamova** – PhD (Pedagogical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of the PCMPT department, KNRTU; **I. A. Zagidullina** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of the PCMPT department, KNRTU; **Yu. M. Kazakov** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Associate Professor, Professor of the Department of Elastomers Chemistry and Processing Technology, Rector, KNRTU; **O. V. Stoyanov** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor, Advisor to the Rector's Office, Acting Head of the PT department, KNRTU, ov_stoyanov@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 06.06.26.

Дата принятия рукописи в печать – 21.07.26.