

**А. В. Кулыгин, К. Б. Вернигоров, В. И. Машуков,
С.А. Ефремов, С. В. Нечипуренко, А. В. Касперович,
А. И. Загидуллин, А. И. Хасанов, Р. А. Захаренко,
А. И. Вагапова, С. Н. Русанова, Ю. М. Казаков, О. В. Стоянов**

СОСТАВ КУБОВОГО ОСТАТКА В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОЦЕССЕ КАРБОНИЗАЦИИ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И СТЕБЛЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: процесс карбонизации, кубовый остаток, углерод-кремнистый композит, рисовая шелуха и стебель, растворимость, термогравиметрия, химический состав, рентгено-флуоресцентный анализ, ИК-спектроскопия.

В производстве углерод-кремнистого композита, применяемого в качестве наполнителя полимерных материалов и получаемого из отходов растениеводства, таких как рисовая шелуха и стебли, в процессе карбонизации образуется 15-22% кубового остатка. Данный кубовый остаток представляет собой смолу. Представляло интерес изучить состав данного продукта, так как он получается в товарном количестве и может представлять интерес в качестве функциональной добавки различного назначения в рецептурах полимерных композиций. Исследование растворимости кубового остатка показало, что эта смола плохо растворима как в полярных, так и в неполярных растворителях. Термогравиметрический анализ показал, что температура начала потери массы составляет 60 °С при температуре 100 °С образец теряет 1,1% массы. При температуре 180 °С потеря массы составляет 5% мас., температура потери 10% массы - 228 °С. В ходе выдержки при температуре 120 °С было установлено, что после 1 часа экспозиции изменение его массы прекращается, что связано с испарением фракций с температурой кипения до 120 °С. Дальнейшее экспонирование смолы в течении 4 часов не приводит к изменению массы. Был проведен анализ состава исследуемого кубового остатка процесса карбонизации методами рентгено-флуоресцентного анализа. Установлено, что, без учета водорода, эта смола преимущественно состоит из углерода (~69% мас.) и кислорода (~29% мас.), а также крайне незначительных количеств других химических элементов. Исследование методом ИК спектроскопии показало, что кроме алифатических фрагментов в смоле присутствует значительное количество полициклических и замещенных ароматических углеводородов, а также кислородсодержащих функциональных групп. Полученные результаты позволяют предположить, что данный продукт может представлять интерес в качестве функциональной добавки в составе полимерных композиций различного назначения.

**A. V. Kulygin, K. B. Vernigorov, V. I. Mashukov,
S. A. Efremov, S. V. Nechipurenko, A. V. Kasperovich,
A. I. Zagidullin, A. I. Khasanov, R. A. Zakharenko,
A. I. Vagapova, S. N. Rusanova, Yu. M. Kazakov, O. V. Stoyanov**

COMPOSITION OF THE CESS RESIDUE IN THE INDUSTRIAL PROCESS OF CARBONIZATION OF RICE HUSK AND STEM IN PRODUCING FILLER FOR POLYMERIC MATERIALS

Key words: carbonization process, still residue, carbon-siliceous composite, rice husk and stem, solubility, thermogravimetry, chemical composition, X-ray fluorescence analysis, IR spectroscopy.

In the production of carbon-silica composite used as a filler for polymeric materials and obtained from plant waste such as rice husks and stems, 15-22% of still residue is formed during the carbonization process. This still residue is a resin. It was of interest to study the composition of this product, since it is obtained in commercial quantities and can be of interest as a functional additive for various purposes in the formulations of polymer compositions. A study of the still residue solubility showed that this resin is poorly soluble in both polar and non-polar solvents. Thermogravimetric analysis showed that the mass loss onset temperature is 60 °C at a temperature of 100 °C the sample loses 1.1% of its mass. At a temperature of 180 °C the mass loss is 5% by weight, the temperature of 10% mass loss is 228 °C. During exposure at a temperature of 120 °C it was found that after 1 hour of exposure, the change in its mass ceases, which is due to the evaporation of fractions with a boiling point of up to 120 °C. Further exposure of the resin for 4 hours does not lead to a change in mass. The composition of the studied still residue of the carbonization process was analyzed using X-ray fluorescence analysis methods. It was found that, excluding hydrogen, this resin mainly consists of carbon (~69% by weight) and oxygen (~29% by weight), as well as extremely small amounts of other chemical elements. A study using the IR spectroscopy method showed that in addition to aliphatic fragments, the resin contains a significant amount of polycyclic and substituted aromatic hydrocarbons, as well as oxygen-containing functional groups. The results obtained suggest that this product may be of interest as a functional additive in polymer compositions for various purposes.

Введение

Ежегодно после сбора урожая зерновых культур образуется большое количество отходов, основная часть которых из-за своей низкой кормовой ценности утилизируется сжиганием либо попадает на свалку,

нанося ущерб окружающей среде. Вовлечение в рациональное использование в качестве источников сырья для производства продуктов с добавленной стоимостью этих растительных отходов позволит решить ряд задач экологической и производственной

направленности. В частности, в настоящее время для полиолефинов в качестве наполнителей исследователи предлагают измельченные стебли различных травянистых растений, отработанную кофейную гущу, шелуху какао и подсолнечника, кокосовое волокно [1-10]. Однако непосредственное использование в полимерах таких наполнителей нельзя назвать квалифицированным, иначе говоря, можно считать практически невозможным без предварительной обработки растительного сырья из-за высокого содержания влаги, нестабильности размеров, низкой дисперсности и т.д. В качестве эффективного наполнителя для резиновых смесей, в том числе и на основе смесей каучуков, разработан новый комбинированный наполнитель на основе малоценных отходов рисоводства [11]. Данный углерод-кремнистый композит является продуктом высокотемпературной карбонизации рисовой шелухи и рисового стебля, состав которых является постоянным для сорта и места произрастания исходного растительного сырья. В работах исследователей России, Белоруссии и Казахстана было показано, что этот наполнитель из возобновляемого природного сырья является эффективной частичной заменой технического углерода в резиновых смесях, а также оказывает термостабилизирующее действие при введении его в полиэтилен высокого давления [12-19].

Однако при производстве углерод-кремнистого наполнителя, в процессе карбонизации предварительно измельченных стеблей риса и его шелухи образуется большое количество летучих органических соединений, которые затем улавливаются и частично конденсируются в качестве кубового остатка. При этом количество этой смолистой фракции составляет 15-22 % от массы загруженного сырья, то есть является весьма значительным. Полученный кубовый остаток карбонизации рисовой шелухи и стебля (КО-КРШС) является сложной смесью органических соединений, а, следовательно, может представлять интерес в качестве компонента полимерных композиционных материалов.

Целью настоящей работы явилось исследование состава кубового остатка, образующегося в промышленном процессе карбонизации рисовой шелухи и стеблей.

Экспериментальная часть

КОКРШС представляет собой черную высоковязкую массу с характерным запахом («копченый»). Температура размягчения по КИШ 60–65°C. Плотность, определенная методом гидростатического взвешивания (ГОСТ 15139—69), составляет 1,231 г/см³. рН водной вытяжки, определенный в соответствии с ГОСТ 11511-65, свидетельствует о ее нейтральном характере. Как уже было отмечено, данная смола является отходом производства углерод-кремнистого композита, получаемого карбонизацией смеси предварительно измельченных рисовой шелухи и стебля в пиролизной печи, без доступа кислорода, при температуре 550–600 °C по стандарту предприятия СТ ТОО 171040009247-01-2021. Производи-

телем является товарищество с ограниченной ответственностью «NeoCarbon» (г. Алматы, Республика Казахстан).

Определение элементного состава продукта проводили с помощью флуоресцентного спектрометра EDX Quantox-200 (Bruker, Германия) при напряжении 15,0 кВ. Анализ основан на регистрации испускаемого вторичного флуоресцентного характеристического излучения химическими элементами образца, спровоцированного рентгеновским излучением от источника прибора. Количественное содержание химических элементов в образце определяли, исходя из интенсивности характеристического вторичного излучения.

Термогравиметрический анализ проводили при скорости нагрева 10 град/мин с помощью термогравиметрического анализатора Q-500.

ИК-спектры МНПВО исходного КОКРШС получали с помощью ИК-Фурье микроскопа модели Cary 620 FTIR путем усреднения результатов 100 сканирований.

ИК-спектры компонентов смолы получали методом просвечивающей ИК-спектроскопии на приборе «Инфралюм ФТ-08». Образцы были изготовлены поливом из раствора на стекло из КВг.

В качестве растворителей были использованы диметилсульфоксид (ДМСО), изопропиловый спирт, орто-ксилол, четыреххлористый углерод. Качество растворителей - х.ч.

ИК спектры были обработаны с помощью пакета программ ACD/SpecManager (ACD/UV-IR Manager & UV-IR Processor. Version 6.0 for Microsoft Windows).

Результаты и их обсуждение

Термогравиметрический анализ смолы показал (рис.1), что КОКРШС начинает незначительно терять массу уже при достаточно низких температурах. Температура начала потери массы составляет 60°C (0,3% мас.), при 100°C образец теряет 1,1% массы, вероятно, за счет испарения низкомолекулярных фракций. Характерный запах копченостей исчезает выше 120°C. При температуре 180 °C потеря массы составляет 5% мас., температура потери 10% массы - 228°C. Однако в ходе выдержки КОКРШС при температуре 120°C было установлено, что после 1 часа прекращается изменение его массы, что связано с испарением фракций с температурой кипения до 120°C. Дальнейшее экспонирование смолы в течении 4 часов не приводит к изменению ее массы.

Исследование растворимости КОКРШС показало, что эта смола плохо растворима как в полярных, так и в неполярных растворителях (табл.1).

Максимальное количество вещества, растворяющееся в 100 г растворителя при 25 °C для исследованных систем не превышает 5,2 г. При этом растворимость в полярных растворителях существенно выше, что свидетельствует о несколько большем содержании полярных компонентов.

Для определения элементного состава КОКРШС был проведен рентгеноспектральный анализ. Установлено, что, без учета водорода, эта смола преиму-

щественно состоит из углерода (~69% мас.) и кислорода (~29% мас.) (табл.2) а также крайне незначительных количеств других химических элементов.

Проведенный анализ позволил предположить присутствие в составе КОКРШС большого количества различных кислородсодержащих групп.

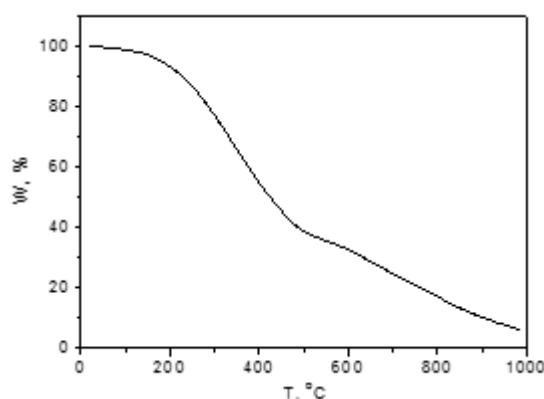


Рис. 1 – Кривая потери массы КОКРШС

Fig. 1 – Mass loss curve SRGRHS

Таблица 1 – Растворимость КОКРШС

Table 1 – Solubility SRGRHS

Растворитель	St, г/100г р-ля:
ацетон	5,2
этилацетат	5,0
дихлорэтан	4,4
изобутанол	3,8
тетрахлорметан	2,0
толуол	1,9
о-ксилол	0,8
гексан	0,5
гептан	0,4

Для установления присутствия тех или иных функциональных групп в составе исследуемого модификатора был проведен анализ методом ИК-спектроскопии исходного КОКРШС (рис.2) и некоторых его компонентов, экстрагированных различными по своей природе растворителями. Для экстракции компонентов были использованы ДМСО (рис.3), изопропанол (рис.4), орто-ксилол и четыреххлористый углерод (рис.5).

Таблица 2 – Элементный состав КОКРШС по данным рентгено-флуоресцентного анализа

Table 2 – Elemental composition of SRGRHS according to X-ray fluorescence analysis

Элемент	% мас.	% атом.
C	68,83	75,42
O	28,91	23,78
Si	0,48	0,23
Fe	0,90	0,21
Al	0,30	0,15
Ca	0,23	0,08
S	0,17	0,07
K	0,10	0,03
Mg	0,04	0,02
Cl	0,03	0,01

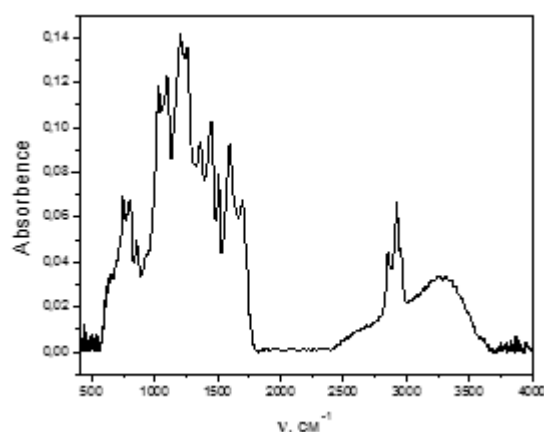


Рис. 2 – ИК спектр МНПВО КОКРШС

Fig. 2 – FTIR spectrum SRGRHS

При этом следует учитывать, что ИК спектр исходной смолы был получен с использованием метода МНПВО, а образцы пленок экстрагированных соединений были отлиты на кристаллах КВг и их спектры получены методом пропускания.

Анализ спектров показал (рис. 2-5), что во всех исследованных образцах (вне зависимости от способа получения спектра и использованного растворителя) имеются интенсивные полосы поглощения, относящиеся к валентным и деформационным колебаниям метильных и метиленовых групп (3000-2845, 1460, 1380 cm^{-1} , в том числе объединенных в последовательность не менее четырех атомов углерода (720 cm^{-1}), характеристические полосы двойных связей и C–H связи ароматических колец (3030, 1500-1600, 950-1275 cm^{-1}), присутствуют интенсивные полосы гидроксильных (3100-3600 cm^{-1}) и других различных кислородсодержащих групп (1700-1770 cm^{-1}).

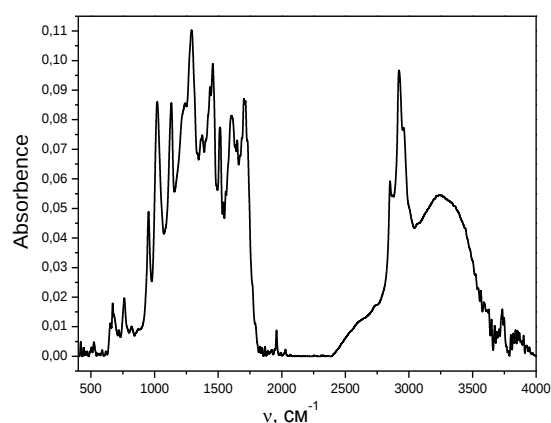


Рис. 3 – ИК спектр компонента КОКРШС, экстрагированного ДМСО

Fig. 3 – IR spectrum of the SRGRHS component extracted with DMSO

При этом полосы, характерные для ароматических соединений, свидетельствуют о наличии моноароматических и полициклических углеводородов (1500-1620, 3050, 3090 cm^{-1}).

Кроме того, имеются характеристические полосы в области 740-970 cm^{-1} , относящиеся к колебаниям

дизамещенных аренов (положение 1,2-, 1,3- и 1,4- относительно бензольного кольца). При этом не исключено присутствие и трехзамещенных ароматических соединений.

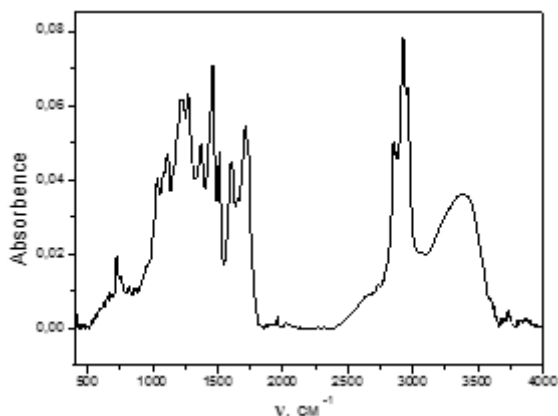


Рис. 4 – ИК спектр компонента КОКРШС, экстрагированного изопропанолом

Fig. 4 – IR spectrum of the SRGRHS component extracted with isopropyl alcohol

Анализ полученных экспериментальных данных однозначно свидетельствует о присутствии в исследованном кубовом остатке карбонизации стеблей и шелухи риса полициклических и замещенных ароматических углеводородов с кислородсодержащими функциональными группами.

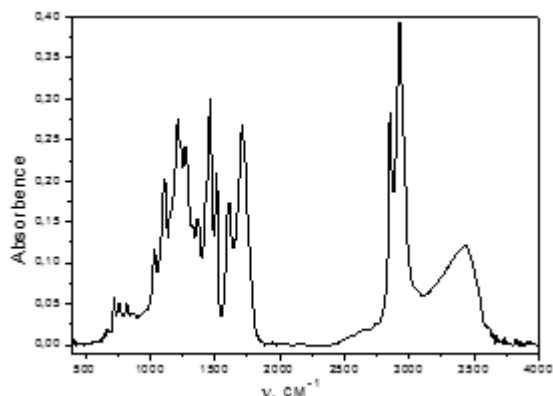


Рис. 5 – ИК спектр компонента КОКРШС, экстрагированного CCl₄

Fig. 5 – IR spectrum of the SRGRHS component extracted with CCl₄

Заключение

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что по своему составу и свойствам продукт, представляющий собой кубовый остаток в технологическом процессе карбонизации рисовой шелухи и стебля, может представлять интерес в качестве функционального компонента полимерных композиций различного назначения, учитывая тот факт, что он образуется в значительном (товарном) количестве.

Литература

1.Х.С. Абзальдинов, А.Ф. Яруллин, Н.Е. Темникова, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, А.В. Касперович, Ю.М. Ка-

заков, О.В. Стоянов, *Вестник Технологического университета*, **26**, 10, 57-68 (2023). DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-10-57.

2.A. Rigail-Cedeño, M. Lazo, J. Gaona, J. Delgado, C.V. Tapia-Bastidas, A.L. Rivas, E. Adrián, R. Perugachi, *J. Manuf. Mater. Process*, **6**, Article 67 (2022). DOI: 10.3390/jmmp6040067.

3.A.S. Mohite, A.R. Jagtap, M.S. Avhad, A.P. More, *Energy Nexus*, **7**, 100134–100153 (2022). DOI: 10.1016/j.nexus.2022.100134.

4.J.O. Agunsoye, T.S. Isaac, S.O. Samuel, *J. Miner. Mater. Characteriz. Eng.*, **11**, 8, 774–779 (2012). DOI:10.4236/jmmce.2012.118066.

5.S. Muthukumar, K. Lingadurai, *Global J. Eng. Sci. Res.*, **1**, 3, 19-23 (2014).

6.M. Barczewski, K. Sałasińska, J. Szulc, *Polym. Test.*, **75**, 1–11 (2019). DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.01.017.

7.M. Yu, R. Huang, C. He, Q. Wu, X. Zhao, *Int. J. Polym. Sci.*, **4**, Article 2520670 (2016). DOI: 0.1155/2016/2520670

8.R. Paul, D. Zindani, S. Bhowmik, *Arabian Journal for Science and Engineering*, **48**, 3, 3615-3630 (2023).

DOI: 10.1007/s13369-022-07221-6

9.A. Hejna, M. Barczewski, P. Kosmela, O. Mysiekiewicz, *Waste and Biomass Valorization*, **14**, 2691-2706 (2023). DOI:10.1007/s12649-023-02041-7.

10. C. X. Viet, A. Masa, R. K. Shuib, H. Ismail, N. Hayeemasae, *Journal of Rubber Research*, **26**, 17-26 (2023).

DOI:10.1007/s42464-023-00194-7

11. Евразийский патент 045499 В1, МПК C08K 3/013, C08K 3/04, C08K 3/34. Применение углерод-кремнистого композита в качестве наполнителя, заявл. 30.06.2021, опубл. 29.11. 2023.

12. В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, **1** (253), 89-95 (2022).

DOI:10.52065/2520-2669-2022-253-1-89-95

13. В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, О.В. Стоянов, *Вестник Технологического университета*, **25**, 6, 86-90 (2022). DOI:10.55421/1998-072-2022-25-6-86

14. В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, **2** (259), 156-164 (2022). DOI:10.52065/2520-2669-2022-259-2-156-164.

15. В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, О.В. Стоянов, *Вестник Технологического университета*, **26**, 2, 60-63 (2023). DOI:10.55421/1998-072-2023-26-2-60

16. В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, О.В. Стоянов, *Вестник Технологического университета*, **26**, 3, 50-52 (2023). DOI:10.55421/1998-7072-2023-26-3-50

17. В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, **1**(265), 95-103 (2023). DOI:10.52065/2520-2669-2023-265-1-11.

18. С.Н. Русанова, К.Б. Вернигоров, В.В. Бушков, Ю.М. Казаков, С.А. Ефремов, О.В. Стоянов, *Пластические массы*, **4**, 48-52 (2024) DOI: 10.35164/0554-2901-2024-04-48-52.

19. K.B. Vernigorov, S.V. Nechipurenko, V.B. Yermukhambetova, V.V. Bushkov, G.S. Irmukhametova, A.Zh. Alikulov, O.V. Stoyanov, Y.M. Kazakov, S.A. Efremov, *VESTNIK KazUTB*, **4** (25), 178-185 (2024). DOI: 10.58805/kazutb.v.4.25-610.

References

1.Kh.S. Abzalidinov, A.F. Yarullin, N.E. Temnikova, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko, A.V. Kasperovich, Yu.M. Kazakov, O.V. Stoyanov, *Herald of Technological University*, **26**, 10, 57-68 (2023). DOI:10.55421/1998-7072-2023-26-10-57.

2. A. Rigail-Cedeño, M. Lazo, J. Gaona, J. Delgado, C.V. Tapia-Bastidas, A.L. Rivas, E. Adrián, R. Perugachi, *J. Manuf. Mater. Process.*, **6**, Article 67 (2022). DOI: 10.3390/jmmp6040067.
3. A.S. Mohite, A.R. Jagtap, M.S. Avhad, A.P. More, *Energy Nexus*, **7**, 100134–100153 (2022). DOI: 10.1016/j.nexus.2022.100134.
4. J.O. Agunsoye, T.S. Isaac, S.O. Samuel, *J. Miner. Mater. Characteriz. Eng.*, **11**, 8, 774–779 (2012). DOI:10.4236/jmmce.2012.118066.
5. S. Muthukumar, K. Lingadurai, *Global J. Eng. Sci. Res.*, **1**, 3, 19-23 (2014).
6. M. Barczewski, K. Salasińska, J. Szulc, *Polym. Test.*, **75**, 1–11 (2019). DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.01.017.
7. M. Yu, R. Huang, C. He, Q. Wu, X. Zhao, *Int. J. Polym. Sci.*, **4**, Article 2520670 (2016). DOI: 0.1155/2016/2520670
8. R. Paul, D. Zindani, S. Bhowmik, *Arabian Journal for Science and Engineering*, **48**, 3, 3615-3630 (2023). DOI: 10.1007/s13369-022-07221-6
9. A. Hejna, M. Barczewski, P. Kosmela, O. Mysiukiewicz, *Waste and Biomass Valorization*, **14**, 2691-2706 (2023). DOI: 10.1007/s12649-023-02041-7.
10. C. X. Viet, A. Masa, R. K. Shuib, H. Ismail, N. Hayeemasae, *Journal of Rubber Research*, **26**, 17-26 (2023). DOI:10.1007/s42464-023-00194-7
11. Eurasian Patent 045499 B1, IPC C08K 3/013, C08K 3/04, C08K 3/34. The use of carbon-silicon composite as a filler, announ. 30.06.2021, publ. 29.11.2023.
12. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko, *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, Biotechnology, Geoecology*, **1** (253), 89-95 (2022). DOI:10.52065/2520-2669-2022-253-1-89-95
13. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko, O.V. Stoyanov, *Herald of Technological University*, **25**, 6, 86-90 (2022). DOI:10.55421/1998-072-2022-25-6-86
14. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko, *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, Biotechnology, Geoecology*, **2** (259), 156-164 (2022). DOI:10.52065/2520-2669-2022-259-2-156-164.
15. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko, O.V. Stoyanov, *Herald of Technological University*, **26**, 2, 60-63 (2023). DOI:10.55421/1998-072-2023-26-2-60
16. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko, O.V. Stoyanov, *Herald of Technological University*, **26**, 3, 50-52 (2023). DOI:10.55421/1998-072-2023-26-3-50
17. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, Biotechnology, Geoecology*, **1**(265), 95-103 (2023). DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-11.
18. S.N. Rusanova, K.B. Vernigorov, V.V. Bushkov, Yu.M. Kazakov, S.A. Efremov, O.V. Stoyanov, *Plastic masses*, **4**, 48-52 (2024) DOI: 10.35164/0554-2901-2024-04-48-52.
19. K.B. Vernigorov, S.V. Nechipurenko, B.B. Yermukhambetova, V.V. Bushkov, G.S. Irmukhametova, A.Zh. Alikulov, O.V. Stoyanov, Y.M. Kazakov, S.A. Efremov, *VESTNIK KazUTB*, **4** (25), 178-185 (2024). DOI: 10.58805/kazutb.v.4.25-610.

© **А. В. Кулыгин** – аспирант каф. Технологии пластических масс, Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия; **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. А. Ефремов** – академик Казахстанской национальной академии естественных наук, д.х.н., проф. каф. Аналитическая, коллоидная химия и технология редких элементов (АКХТРЭ), Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби (КазНУ им. Аль-Фараби); г.н.с., Национальная инженерная академия Республики Казахстан (НИА РК), Алматы, Казахстан; **С. В. Нечипуренко** – к.х.н., доцент каф. АКХТРЭ КазНУ им. аль-Фараби, в.н.с, НИА РК; **А. В. Касперович** – к.т.н., доцент, заведующий каф. Полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; **А. И. Загидуллин** – к.техн.н., доцент, доцент каф. Технологии пластических масс (ТПМ), КНИТУ; **А. И. Хасанов** – к.техн.н., доцент, доцент каф. ТПМ, КНИТУ; **Р.А. Захаренко** – студент гр. 541-61, КНИТУ; **А. И. Ваганова** – аспирант, ассистент каф. Технологии переработки полимеров и композиционных материалов, КНИТУ; **С. Н. Русанова** – д.х.н., доцент, доцент каф. ТПМ, КНИТУ, s-n-r_2004@mail.ru; **Ю. М. Казаков** – д.техн.н., доцент, профессор каф. Химии и технологии переработки эластомеров, ректор, КНИТУ; **О. В. Стоянов** – д.техн.н., профессор, заведующий каф. ТПМ, КНИТУ, ov_stoyanov@mail.ru.

© **A. V. Kulygin** – PhD-student, Department of Plastics Technology (PT), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia; **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. A. Efremov** – Academician of the Kazakh National Academy of Natural Sciences, Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Professor, Department of Analytical, Colloid Chemistry and Technology of Rare Elements (ACCTRE), Al-Farabi Kazakh National University (Al-Farabi KazNU); Senior Researcher, National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan (NEA RK), Almaty, Kazakhstan; **S. V. Nechipurenko** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor of the ACCTRE department, Al-Farabi KazNU; Leading Researcher, NEA RK; **A. V. Kasperovich** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Head of the Department of Polymer Composite Materials, Belorussia State Technological University, Minsk, Belarus; **A. I. Zagidullin** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of the PT department, KNRTU; **A. I. Khasanov** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of PT department, KNRTU; **R. A. Zakharenko** – Student of group 541-61, KNRTU; **A. I. Vaganova** – PhD-student, Assistant of the Department of Polymer and Composite Materials Processing Technology, KNRTU; **S. N. Rusanova** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of the PT department, KNRTU, s-n-r_2004@mail.ru; **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, Head of the PT department, KNRTU, ov_stoyanov@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 10.05.25.

Дата принятия рукописи в печать – 21.05.25.