

**ФУРАНОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА
И ЕГО ЖИРНЫХ КИСЛОТ****О.Е. Насакин, Э.Н. Шалфеева, А.А. Сазанова, П.А. Егоров, С.Ю. Васильева**

Олег Евгеньевич Насакин, Павел Андреевич Егоров

Кафедра органической и фармацевтической химии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 19, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

E-mail: esoran21@inbox.ru, pavel-p1998@mail.ru

Алевтина Анатольевна Сазанова*, Эльвира Николаевна Шалфеева

Кафедра химической технологии и защиты окружающей среды, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 19, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

E-mail: cheiz96@rambler.ru*, high-technology-426@mail.ru

Светлана Юрьевна Васильева

Кафедра физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 19, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

E-mail: vasiljeva75@yandex.ru

*Получен новый полимерный композиционный материал на основе фурфурола-ацетонного мономера, сырого таллового масла и его жирных кислот, которые являются отходами целлюлозно-бумажной промышленности. В данной работе рассмотрено влияние сырого таллового масла и его жирных кислот на связующее фурфурола-ацетонный мономер в композиционном материале. Состав для композиционного материала, состоящий из фурфурола-ацетонного мономера, наполнителя и катализатора *n*-толуолсульфокислоты, модифицировали добавками сырого таллового масла или жирными кислотами таллового масла. Было показано, что прочность на сжатие образцов композиционного материала после 30-дневной выдержки при комнатной температуре, полученных с уменьшенным количеством фурфурола-ацетонного мономера и введением 100 % жирных кислот таллового масла от содержания фурфурола-ацетонного мономера, увеличивается на 37%, при введении 150% жирных кислот таллового масла прочность увеличивается незначительно – на 1,5%, но значительно повышается плотность и уменьшается водопоглощение по отношению к стандартному образцу. Добавки сырого таллового масла (до 150% от фурфурола-ацетонного мономера) приводят к увеличению плотности, уменьшению водопоглощения – на 84%, но снижают прочность образцов при сжатии на 12%. Улучшение физико-химических свойств композиционного материала объяснено предполагаемым химическим взаимодействием жирных кислот таллового масла с моно- и дифурфурилиденацетоном (фурфурола-ацетонным мономером), которое ведет к появлению соединений, которые под действием катализаторов образуют новые полимеры. Это подтверждено данными метода дифференциального термического анализа, хроматограммами смеси фурфурола-ацетонный мономер - жирных кислот таллового масла (ТСХ), ИК спектрами. Использование жирных кислот таллового масла или сырого таллового масла – не дорогих, не токсичных продуктов природного происхождения в композиционном материале, позволяет уменьшить расходные нормы фурфурола-ацетонного мономера и повысить качество полимера.*

Ключевые слова: фурановые полимеры, мономер ФА, сырое талловое масло, жирные кислоты таллового масла, прочность на сжатие, водопоглощение, плотность, ДТА-анализ, хроматография, качество

FURANIUM COMPOSITE MATERIAL BASED ON TALL OIL AND ITS FATTY ACIDS

O.E. Nasakin, E.N. Shalfeeva, A.A. Sazanova, P.A. Egorov, S.Yu. Vasilyeva

Oleg E. Nasakin, Pavel A. Egorov

Department of Organic Chemistry and Pharmaceuticals, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 19, Cheboksary, 428015, Russia

E-mail: ecopan21@inbox.ru, pavel-p1998@mail.ru

Alevtina A. Sazanova*, Elvira N. Shalfeeva

Department of Chemical Technology and Environmental Protection, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 19, Cheboksary, 428015, Russia

E-mail: cheiz96@rambler.ru*, high-technology-426@mail.ru

Svetlana Yu. Vasilyeva

Department of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 19, Cheboksary, 428015, Russia

E-mail: vasiljeva75@yandex.ru

A new polymer composite material based on furfural-acetone monomer, crude tall oil and its fatty acids, which are waste from the pulp and paper industry, was obtained. In this paper, the effect of crude tall oil and its fatty acids on furfural-acetone monomer binder in a composite material is considered. The composition for the composite material, consisting of FA monomer, filler and catalyst p-toluenesulfonic acid, was modified with crude tall oil additives or tall oil fatty acids. It was shown that the compressive strength of composite samples after 30-day exposure at room temperature, obtained with a reduced amount of furfural-acetone monomer and the introduction of 100% fatty acids of tall oil from the furfural-acetone monomer content, increases by 37%, with the introduction of 150% fatty acids of tall oil, the strength increases slightly - by 1.5%, but the density increases significantly and water absorption decreases with respect to the standard sample. Additives of crude tall oil (up to 150% of furfural-acetone monomer) lead to an increase in density, a decrease in water absorption - by 84%, but reduce the compressive strength of samples by 12%. The improvement in the physicochemical properties of the composite material was explained by the alleged chemical interaction of tall oil fatty acids with mono- and difurfurilideneacetone (furfural-acetone monomer), which takes place with the formation of new polymers. This is confirmed by DTA data, chromatograms of the furfural-acetone monomer - fatty acids of tall oil (TLC) mixture, and IR spectra. The use of fatty acids of tall oil or crude tall oil, non-expensive, non-toxic products of natural origin in the composite material, can reduce the consumption rates of furfural-acetone monomer and improve the quality of the polymer.

Key words: furan polymers, FA monomer, crude tall oil, tall oil fatty acids, compressive strength, water absorption, density, DTA analysis, chromatography, quality

Для цитирования:

Насакин О.Е., Шалфеева Э.Н., Сазанова А.А., Егоров П.А., Васильева С.Ю. Фурановый композиционный материал на основе таллового масла и его жирных кислот. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 2. С. 4–9

For citation:

Nasakin O.E., Shalfeeva E.N., Sazanova A.A., Egorov P.A., Vasilyeva S.Yu. Furanium composite material based on tall oil and its fatty acids. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [ChemChemTech]. 2021. V. 64. N 2. P. 4–9

Мономеры и олигомеры фурфурола и ацетона широко применяются как самостоятельно в качестве связующих при изготовлении пресс-материалов, пластобетонов, антикоррозионных мастик и замазок для футеровочных работ, так и в модифицированном виде [1-3].

Технический продукт конденсации фурфурола и ацетона (смола ФА или мономер ФА) – это смесь продуктов, состоящая из монофурфурилиденацетона 52-56% (1), дифурфурилиденацетона 20-26% (2), фурфурилидендиацетона 15-26% (3) и др. примесей. Под действием кислого катализатора В

(это в основном ароматические сульфокислоты *n*-толуолсульфокислота, бензолсульфокислота, минеральные кислоты – фосфорная и серная) образуются олигомер (4).

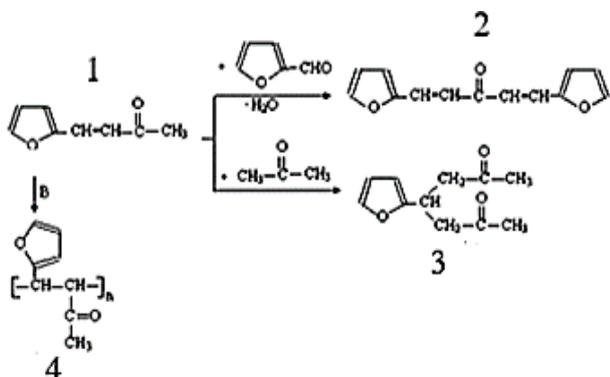


Рис. 1. Мономер ФА и его первая стадия полимеризационного процесса
Fig. 1. Monomer FA and its first stage of the polymerization process (B)

Процессы образования высокомолекулярных соединений из мономера ФА происходят различным образом. Эти реакции могут протекать за счет двойных связей цикла или двойных связей в боковой цепи, они могут быть связаны с предварительным расщеплением цикла и последующим превращением образующихся при этом продуктов. Образующиеся фурановые полимеры являются термореактивными смолами, способными в определенных условиях перейти в неплавкое и нерастворимое состояние с образованием трехмерной структуры [4-7]. Введение в мономер ФА минеральных наполнителей и катализатора отверждения приводит к получению материалов, отверждаемых на холоде, имеющих черный цвет и обладающих монолитностью, высокой химической и механической прочностью, но их механические свойства ниже, чем у эпоксидных и полиэфирных композитов. Одним из путей устранения этих недостатков является их химическая модификация другими продуктами: эпоксидной смолой, каучуками и др. [8-10]. Однако эти добавки значительно удорожают композиционные материалы, поэтому в своей работе в качестве модификатора мы использовали недорогой продукт природного происхождения – сырое талловое масло и его жирные кислоты. В состав СТМ входят ненасыщенные жирные кислоты – линолевая, олеиновая и др. ~ 40%, смоляные кислоты ~ 45% и нейтральные вещества (альдегиды, спирты ~ 15%. СТМ подвергают ректификации, получая фракции жирных кислот и др. веществ. Жирные кислоты таллового масла – это смесь ненасыщенных органических кислот C₁₈ –

C₂₀ ~ 93%, нейтральных веществ ~ 5%, насыщенных жирных кислот [11-12].

Ранее нами было установлено, что добавка сырого таллового масла или его жирных кислот в связующее ФА при получении композитов значительно повышает физико-механические прочностные образцов [13-14].

Цель данной работы – получить композиционный материал на основе смолы ФА и таллового масла с хорошими физико-механическими свойствами и изучить влияние сырого таллового масла и его жирных кислот на мономер ФА.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В фурановое связующее – мономер ФА (8% от наполнителя) вносили сырое талловое масло (СТМ) или жирные кислоты таллового масла (ЖКТМ) (60%-150% от содержания мономера ФА), добавляли наполнитель – песок, перемешивали, вносили катализатор – *n*-толуолсульфокислоту (ПТСК) в ацетоне. Отверждали образцы при комнатной температуре, и после 30-дневной выдержки определяли прочность на сжатие на разрывной электромеханической машине РЭМ-10А2 по ГОСТ 10180-2012, определяли водопоглощение – по ГОСТ 12730.3-78. Результаты испытаний сравнивали со стандартным образцом без добавок ЖКТМ или сырого таллового масла.

Таблица 1

Состав фурановой композиции
Table 1. The composition of the furan composition

№	Состав композиции				
	Песок, г	ФА, г	ПТСК, г	Ацетон, г	СТМ или ЖКТМ, г
1	50	4	0,6	0,6	-
2	50	4	0,6	0,6	60
3	50	4	0,6	0,6	80
4	50	4	0,6	0,6	100
5	50	4	0,6	0,6	125
6	50	4	0,6	0,6	150

Для того, чтобы показать влияние СТМ или его жирных кислот на мономер ФА, была изучена термическая деструкция образцов мономера ФА, ЖКТМ, сырого таллового масла, методом дифференциального термического анализа (ДТА) на приборе Термоскан 2 [15-17].

Использовали также хроматографический метод анализа, чтобы обнаружить химическое взаимодействие мономера ФА с ЖКТМ [18, 19]. Хроматографировали вещества на силуфолу UV-254, растворитель – ацетон, система: *n*-гексан – бензол – уксусноэтиловый эфир 1:0,5:0,06, проявитель – пары иода.

Были сняты ИК спектры на спектрофотометре ФСМ 1202 в диапазоне волновых чисел 4000-400 см⁻¹, разрешение 4 см⁻¹ веществ: мономера ФА, жирных кислот таллового масла и смеси ФА и жирных кислот таллового масла [20-22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из экспериментальных данных, представленных в табл. 2, следует, что в образцах композиционного материала с уменьшенным количеством ФА – 8% при добавке 150% ЖКТМ (по отношению к ФА), после 30 дней выдержки при комнатной температуре увеличивается плотность образцов на 12,3%, уменьшается водопоглощение на 70%. Однако надо отметить, что предел прочности на сжатие увеличивается на 37% при введении 100% ЖКТМ, но при введении 150% ЖКТМ прочность уже увеличивается незначительно – на 1,5%.

Таблица 2

Физико-механические показатели образцов полимеров с добавкой ЖКТМ

Table 2. Physical and mechanical parameters of polymer samples with the addition of ZHKTM

№	Добавка ЖКТМ, % от загрузки ФА	Водопоглощение, %	Плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии после 30 сут. выдержки, Кгс/см ²
1	0	10,22	1,71	202,50
2	60	5,38	1,83	218,90
3	80	4,97	1,87	216,90
4	100	3,22	1,89	277,50
5	150	2,08	1,95	205,60

Введение СТМ (до 150% от ФА) в образцы с уменьшенным количеством связующего приводит к увеличению плотности на 10,5%, к уменьшению влагопоглощения на 84,4%, но снижает прочность образцов при сжатии на 12% по сравнению со стандартным образцом (табл. 3).

Таблица 3

Физико-механические показатели образцов полимеров с добавкой СТМ

Table 3. Physical and mechanical properties of samples polymers with the addition of STM

№.	СТМ, % от загрузки ФА	Водопоглощение, %	Плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии после 30 дней выдержки, Кгс/см ²
1	-	10,22	1,71	202,50
2	60	4,24	1,81	184,40
3	80	3,39	1,83	181,10
4	100	2,76	1,88	186,70
5	150	1,59	1,89	178,0

О химическом взаимодействии СТМ и его жирных кислот свидетельствуют данные ДТА, приведенные на рис. 2: на дифференциальной кривой 3, соответствующей смеси ФА и ЖКТМ, отсутствует экзотермический пик с T 242 °С, характерный для мономера ФА (кривая 2), и экзотермический пик с T 373 °С (кривая 1), характерный для ЖКТМ.

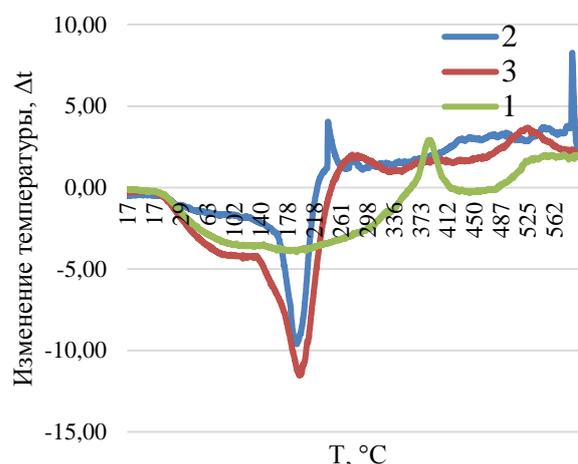


Рис. 2. Термограмма 1-ЖКТМ; 2- ФА; 3 – ФА с добавкой ЖКТМ

Fig. 2. Thermogram 1-GCTM; 2-FA; 3 - FA with ZHKTM additive

При хроматографировании смеси ЖКТМ – мономер ФА появилось новое пятно с $R_f = 0,12$, которое и по R_f , и по цвету отличалось от ЖКТМ ($R_f = 0,29$) и от мономера ФА ($R_f = 0,17$), что указывает на образование нового продукта – продукта взаимодействия связующего с ЖКТМ.

В снятых ИК спектрах (рис. 3) обращают на себя внимание 2 области спектра ~3400 см⁻¹ (широкий пик, вызванный ОН группами, связанными водородной связью) и ~1640 см⁻¹ (алкеновая связь С=C). Практически во всех случаях пик, характерный для мономера ФА 1640 см⁻¹, пропадает, если рассматривать спектр смеси компонентов, что говорит о том, что более вероятно реакция идет по двойным связям, образуются олигомерные продукты взаимодействия между компонентами. Также характерный пик для мономера ФА (3400 см⁻¹, широкий, вызванный небольшим содержанием воды) исчезает в случае спектра смесей. Предполагаем, что образуются более неполярные продукты, которые не образуют водородную связь с водой. Также следует отметить различие в областях отпечатков пальцев 1500-500 см⁻¹ смеси ФА и ЖКТМ.

Исходя из полученных данных, мы предполагаем, что между мономером ФА и компонентами

таллового масла на первом этапе возможны реакции образования неполярных продуктов с ненасыщенными кислотами и смоляными кислотами, которые затем в кислой среде образуют полимеры с большой молекулярной массой.

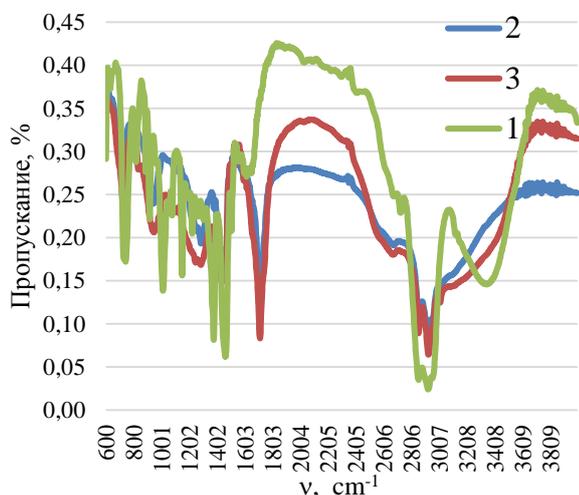


Рис. 3. ИК спектры: 1- мономер ФА, 2-ЖКТМ, 3- смесь ФА + ЖКТМ

Fig. 3. IR spectra: 1- FA monomer, 2-ZhKTM, 3- FA + ZhKTM mixture

Таким образом, в данной работе была проведена модификация мономера ФА (с уменьшенным его количеством по сравнению с действующими рецептурами) сырым талловым маслом и его жирными кислотами. Показано, что наиболее эффективным является добавка ЖКТМ (100% по от-

ношению к ФА) – прочность композиционного материала при сжатии увеличивается на 37% по сравнению со стандартным образцом.

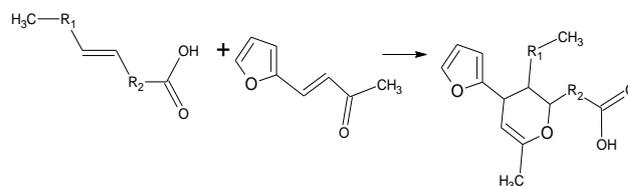


Рис. 4. Предполагаемая реакция мономера ФА с ненасыщенными кислотами

Fig. 4. Estimated reaction of FA monomer with unsaturated acids

Введение СТМ (до 150% от ФА) в образцы приводит к увеличению плотности, к уменьшению влагопоглощения, но снижает прочность образцов при сжатии на 12% по сравнению со стандартным образцом.

Показано, что модификация мономера ФА продуктами таллового масла не только улучшает физико-химические свойства композитов, но предполагает химическое взаимодействие мономера ФА – связующего с продуктами таллового масла, что приводит в присутствии катализатора к образованию новых полимеров.

Использование продуктов «зеленой химии» – СТМ и жирных кислот таллового масла при производстве композиционных материалов позволит организовать более экономичный и экологически безопасный технологический процесс, снизить стоимость и повысить качество конечного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение. *Международн. журн. приклад. и фундамент. исслед.* 2018. № 5. Вып. 1. С. 245-256.
2. Низамов Т.А. Полимерные композиционные материалы на основе модифицированных фурановых соолигомеров. Сб. тр. IV Всерос. конф. «Химия и хим. технология: достижения и перспективы». Кемерово. 2018. С. 309.1-309.4.
3. Семчиков Ю.Д., Жильцов С.Ф., Зайцев С.Д. Введение в химию полимеров. СПб.: Лань. 2014. 222 с.
4. Муравицкая Т.П., Ивлев А.А., Гурусова А.А. Теоретическое обоснование процессов структурирования смол на основе фурацетона мономера. *Вестн. Костром. гос. технол. ун-та.* 2010. № 1. С. 98-100.
5. Федотов А.А., Угрюмов С.А. Химические процессы структурирования фурфурацетона мономера ФА. *Клеи, герметики, технологии.* 2013. № 4. С. 25-28.
6. Ахмадалиев М.А., Юсупова Н.А. Реакция образования дифурфурилиденацетона-ДИФА. *Universum: Технич. науки: электрон. научн. журн.* 2019. № 10(67). URL: <http://Tuniversum.com/ru/tech/archive/item/7933> (дата обращения: 16.05.2020).

REFERENCES

1. Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Modern polymer composite materials and their use. *Mezhdunar. Zhurn. Priklad. Fundamet. Issled.* 2018. N 5. Iss. 1. P. 245-256 (in Russian).
2. Nizamov T.A. Polymer composite materials based on modified furan co-oligomers. Sat. IV All-Russia. conf. "Chemistry and chem. technology: achievements and prospects. Kemerovo. 2018. P. 309.1-309.4 (in Russian).
3. Semchikov Yu.D., Zhiltsov S.F. Zaitsev S.D. Introduction to the chemistry of polymers. SPb.: Lan'. 2014. 222 p. (in Russian).
4. Muravitskaya T.P., Ivlev A.A., Gurusova A.A. Theoretical basis for the structuring of resins based on furanacetone monomer. *Vestn. Kostrom. Gos. Tekhnol. Un-ta.* 2010. N 1. P. 98-100 (in Russian).
5. Fedotov A.A., Ugryumov S.A. Chemical processes of structuring of furfural acetone monomer FA. *Klei, Germetiki, Tekhnologii.* 2013. N 4. P. 25-28 (in Russian).
6. Akhmadaliev M.A., Yusupova N.A. The reaction of the formation of difurfurilideneacetone-Difa. *Universum: Tekhnich. nauki: elektron. nauchn. zhurn.* 2019. N 10 (67). URL: <http://Tuniversum.com/ru/tech/archive/item/7933> (accessed: 05.16.2020) (in Russian).

7. Магруппов Ф.А., Алимухамедов М.Г., Магруппов А.Ф., Низамов Т.А. Особенности механизма образования сшитых фуруфуриловых полимеров. *Пласт. массы*. 2014. № 3-4. С. 11-14.
8. Пластификаторы для полимеров. [Электронный ресурс. - Режим доступа]: <https://msd.com.ua/plastifikatory-dlya-polimerov/plastifikatory-dlya-polimerov/> (дата обращения 15.05.2019).
9. Тимакова К.А., Панов Ю.Т. Влияние наполнителей на свойства одноупаковочных полиуретановых герметиков в присутствии латентного отвердителя. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 60-65. DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.5922.
10. Мирюк О.А. Влияние наполнителей на свойства жидкостекольных композиций. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 12. С. 51-56. DOI: 10.6060/ivkkt.20196212.5915.
11. Евдокимов А.Н., Трифонова А.Д., Курзин О.С. Получение сопряженных жирных кислот таллового масла. *Химия растит. сырья*. 2011. № 2. С. 183-184.
12. Владимирова Т.М., Третьяков С.И., Жабин В.И., Коптелов А.Е. Переработка талловых продуктов. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та. 2008. 155 с.
13. Егоров П.А., Шалфеева Э.Н., Сазанова А.А., Васильева С.Ю., Насакин О.Е. Исследование влияния сырого таллового масла на свойства полимербетонной композиции. Сб. матер. VII Всесоюз. конф. с междунар. участием. Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды. Чебоксары. 2018. С. 106-107.
14. Егоров П.А., Васильев В.В., Сазанова А.А., Васильева С.Ю., Насакин О.Е. Изучение влияния жирных кислот таллового масла на физико-химические свойства фуранового полимера. Матер. XIII Междунар. науч. конф. по естественнонауч. и технич. дисциплин. "Научному прогрессу – творчество молодых". Йошкар-Ола. 20-21 апреля 2018. С. 117-120.
15. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия. 2008. 557 с.
16. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1). Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та. 2013. 118 с.
17. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В. Технические свойства полимерных материалов. СПб.: Профессия. 2005. 248 с.
18. Аскадский А.А., Хохлов А.Р. Введение в физико-химию полимеров. М.: Науч. мир. 2009. 380 с.
19. Замышляева О.Г. Методы исследования современных полимерных материалов. Нижний Новгород: Нижегород. гос. ун-т. 2012. 90 с.
20. Макарова И.А., Лохова Н.А. Физико-химические методы исследования строительных материалов. Братск: Изд-во БрГУ. 2011. 139 с.
21. Шаталова Т.Б., Шляхтин О.А., Веряева Е. Методы термического анализа М.: МГУ им. Ломоносова. 2011. 72 с.
22. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле. *Изв. вузов. Проблемы энергетики*. 2016. № 1-2. С. 122-128.
7. Magrupov F.A., Alimukhamedov M.G., Magrupov A.F., Nizamov T.A. Features of the mechanism of formation of cross-linked furfuryl polymers. *Plast. Massy*. 2014. N 3-4. P. 11-14 (in Russian).
8. Plasticizers for polymers. [Electronic resource. - Access mode]: <https://msd.com.ua/plastifikatory-dlya-polimerov/plastifikatory-dlya-polimerov/> (access date 05/15/2019). (in Russian).
9. Timakova K.A., Panov Yu.T. Effects of fillers on properties of one-part polyurethane sealants with presence of a latent curing agent. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 9. P. 60-65. DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.5922.
10. Miryuk O.A. Influence of fillers on properties of liquid-glass compositions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 12. P. 51-56 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196212.5915.
11. Evdokimov A.N., Trifonova A.D., Kurzin O.S. Obtaining conjugated tall oil fatty acids. *Khimiya Rastit. Syr'ya*. 2011. N 2. P. 183-184 (in Russian).
12. Vladimirova T.M., Tretyakov S.I., Zhabin V.I., Koptelov A.E. Processing of tall products. Arkhangelsk: Izd. Arkhang. gos. tekhn. un--ta. 2008. 155 p. (in Russian).
13. Egorov P.A., Shalfeeva E.N., Sazanova A.A., Vasilyeva S.Yu., Nasakin O.E. Investigation of the effect of crude tall oil on properties polymer concrete composition. Sat. Materials VII All-Union Conf. with Int. participation. Actual issues of chemical technology and environmental protection. Cheboksary. 2018. P. 106-107 (in Russian).
14. Egorov P.A., Vasiliev V.V., Sazanova A.A., Vasiliev S.Yu., Nasakin O.E. Studying the effect of tall oil fatty acids on physicochemical properties of furan polymer. Scientific progress - creativity of the young: materials of the XIII Intern. scientific conf. in natural sciences and technical disciplines. Yoshkar-Ola. 20-April 21. 2018. P. 117-120 (in Russian).
15. Kerber M.L. Polymer composite materials: structure, properties, technology. SPb.: Professiya. 2008. 557 p. (in Russian).
16. Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. Polymer composite materials (part 1). Tomsk: Izd. Tomsk. Polytekh. Un-ta. 2013. 118 p. (in Russian).
17. Kryzhanovskiy V.K., Burlov V.V., Panimatchenko A.D., Kryzhanovskaya Yu.V. Technical properties of polymeric materials. SPb.: Professiya. 2005. 248 p. (in Russian).
18. Askadsky A.A., Khokhlov A.R. Introduction to the physical chemistry of polymers. M.: Nauch. Mir. 2009. 380 p. (in Russian).
19. Zamyshlyayeva O.G. Research methods of modern polymer materials. Nizhny Novgorod: Nizhegorod. Gos. Un-t. 2012. 90 p. (in Russian).
20. Makarova I.A., Lokhova N.A. Physico-chemical research methods of building materials. Bratsk: Izd. BrGU. 2011. 139 p. (in Russian).
21. Shatalova T.B., Shlyakhtin O.A., Veryaeva E. Thermal methods analysis. M.: MGU im. M.V. Lomonosov. 2011. 72 p. (in Russian).
22. Kartashova A.A., Novikov V.F. Thin layer chromatography as a method control of furan compounds in transformer oil. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Problemy Energetiki*. 2016. N 1-2. P. 122-128 (in Russian).

Поступила в редакцию 30.09.2019
Принята к опубликованию 23.12.2020

Received 30.09.2019
Accepted 23.12.2020