

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. БИОТЕХНОЛОГИИ

CHEMICAL ENGINEERING. BIOTECHNOLOGIES

УДК 678.046

Н. С. Никулина¹, С. С. Никулин², Н. В. Черная³, Ж. С. Шашок³, Е. П. Усс³

¹Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России

²Воронежский государственный университет инженерных технологий

³Белорусский государственный технологический университет

МОДИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛОЙ C₉

В работе исследована возможность применения нефтеполимерных смол для модификации древесноволокнистых плит. Основными компонентами в данных смолах являются ароматические соединения. Объектом исследования служили древесноволокнистые плиты мокрого способа производства толщиной 3,2 мм. Для модификации древесноволокнистых плит использовалась нефтеполимерная смола «Пиропласт-2К». В применяемый для пропитки углеводородный раствор нефтеполимерной смолы вводили 5% сиккатива НФ-1. Пропитку древесноволокнистых плит проводили путем погружения плит в раствор смолы и выдерживанием в нем в течение 1 мин. Сравнительный анализ свойств осуществляли с образцами плит, обработанных талловым маслом. Анализ молекулярно-массовых показателей предлагаемого пропитывающего состава показал возможность его легкого проникновения в плитный материал. Введение в структуру древесноволокнистых плит нефтеполимерной смолы обеспечивает увеличение (на 24,5–49,7%) прочностных показателей получаемого материала, повышенную водо- и влагостойкость (до 1,56 раза). Кроме того, снижается образование некондиционного материала за счет заполнения дефектов смолой. Показано, что при дополнительном введении в состав олигомерных молекул нефтеполимерных смол C₉ звеньев метилметакрилата в количестве 30% получают модифицированные плиты, обладающие более высокими прочностными показателями, водо- и влагостойкостью. Учитывая тот факт, что нефтеполимерная смола изготавливается из побочных продуктов нефтехимии, использование ее для модификации древесноволокнистых плит позволит утилизировать отходы нефтехимической промышленности по новому направлению, расширить области применения побочных продуктов, более рационально использовать ценное углеводородное сырье и решить ряд вопросов экологического характера.

Ключевые слова: нефтеполимерная смола, древесноволокнистая плита, модификация, вторичный полиметилметакрилат.

Для цитирования: Никулина Н. С., Никулин С. С., Черная Н. В., Шашок Ж. С., Усс Е. П. Модификация древесноволокнистых плит нефтеполимерной смолой C₉ // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 1 (289). С. 5–11.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-1.

N. S. Nikulina¹, S. S. Nikulin², N. V. Chernaya³, Zh. S. Shashok³, E. P. Uss³

¹Voronezh Institute of Advanced Training of Employees GPS EMERCOM of Russia

²Voronezh State University of Engineering Technologies

³Belarusian State Technological University

MODIFICATION OF FIBERBOARD WITH PETROLEUM POLYMER RESIN C₉

The paper investigates the possibility of using petroleum polymer resins for modifying fiberboard. The main components in these resins are aromatic compounds. The object of the study was the fiberboard of the wet production method with a thickness of 3.2 mm. The petroleum polymer resin “Piroplast-2K” was used to modify fiberboard. 5% NF-1 siccativ was injected into the hydrocarbon solution of petroleum polymer resin used for impregnation. The impregnation of wood-fiber slabs was carried out by immersing the slabs in a resin solution and keeping it in it for 1 min. A comparative analysis of

the properties was carried out with samples of plates treated with tallow oil. An analysis of the molecular weight parameters of the proposed impregnating composition showed the possibility of its easy penetration into the slab material. The introduction of petroleum polymer resin into the structure of fiberboard provides an increase (by 24.5–49.7%) in the strength parameters of the resulting material, increased water and moisture resistance (up to 1.56 times). In addition, the formation of substandard material is reduced by filling defects with resin. It has been shown that with the additional introduction of 30% of methyl methacrylate units into the composition of oligomeric molecules of petroleum polymer resins, modified boards are obtained that have higher strength properties, water and moisture resistance. Taking into account the fact that petroleum polymer resin is made from by-products of petrochemistry, its use for the modification of fiberboard will allow recycling waste from the petrochemical industry in a new direction, expand the use of by-products, use valuable hydrocarbon raw materials more efficiently and solve a number of environmental issues.

Keywords: petroleum polymer resin, fiberboard, modification, secondary polymethylmethacrylate.

For citation: Nikulina N. S., Nikulin S. S., Chernaya N. V., Shashok Zh. S., Uss E. P. Modification of fiberboard with petroleum polymer resin C₉. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 1 (289), pp. 5–11 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-1.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется комплексной переработке и использованию отходов действующих производств. Многосторонний подход к решению этой актуальной проблемы позволяет найти наиболее перспективные направления по утилизации побочных продуктов с целью производства на их основе необходимой в настоящее время востребованной продукции, способной заменить более дорогие и дефицитные органические соединения. Область их применения расширяется при использовании в композиционных составах различного назначения [1–11]. Крупнотоннажными потребителями полученных композиционных материалов являются такие отрасли промышленности, как шинная (производство резинотехнических смесей и изделий на их основе), строительная и деревоперерабатывающая.

Особого внимания заслуживают нефтеполимерные смолы [4–11]. Они обладают уникальными физико-химическими свойствами. В отечественной и зарубежной практике нефтеполимерные смолы применяют в качестве заменителей продуктов природного и синтетического происхождения: растительных масел, канифоли, инден-кумароновых, алкилфенолформальдегидных смол и др.

Основной сырьевой базой для синтеза нефтеполимерных смол являются отходы и побочные продукты нефтехимических производств, прежде всего жидкие продукты пиролиза углеводородов [8].

Резинотехнические изделия, дополнительно содержащие в своей структуре нефтеполимерные смолы, обладают улучшенными показателями качества. Нефтеполимерные смолы оказывают пластифицирующее действие на каучуки общего назначения, повышают клейкость резиновых смесей, улучшают их шприцуемость и прессовку обрезиненного корда, динамические свойства

резин, сопротивление разрастанию трещин и т. д. [5, 9, 10]. Однако для достижения равноценного эффекта по влиянию на клейкость по сравнению с алкилфенолформальдегидными смолами необходимо повышать их содержание в резиновых смесях, что может оказать отрицательное влияние на некоторые технические свойства резин [6, 11]. Нефтеполимерные смолы обеспечивают резиновым смесям требуемый уровень пластозластических, конфекционных и технических свойств и улучшают свойства вулканизатов на их основе. Все это свидетельствует о важной роли нефтеполимерных смол при получении резинотехнических изделий улучшенного качества.

На смену традиционным строительным материалам приходят новые полимерные композиты на основе природных возобновляемых полимеров, таких как древесина. Наиболее перспективными и востребованными являются древесно-полимерные композиты, содержащие в своем составе компоненты, изготовленные из отходов деревоперерабатывающей промышленности и производства полимеров. Добавление данных компонентов позволяет получить строительные материалы с заданными формой и свойствами [3]. Авторами [12] изучена возможность производства древесных плит путем использования в качестве наполнителей отходов шинной промышленности. Это способствует решению актуальной экологической проблемы, обусловленной загрязнением окружающей среды. В то же время утилизация отслуживших свой срок шин вносит положительный вклад в повышение экологической безопасности действующих производств и снижает отрицательное воздействие на окружающую среду. Применение отходов шинной промышленности основано сначала на их измельчении до порошкообразного состояния, а затем – дозировании резиновых порошков к опилкам в разных

процентных соотношениях. Такие композиционные смеси целесообразно использовать для производства древесностружечных плит с заданными свойствами.

Олигомеры благодаря своим оптимальным молекулярно-массовым характеристикам широко применяются для модификации природной древесины и древесных композиций [13–15]. В промышленных масштабах на основе некоторых побочных продуктов нефтехимии освоено выпуск олигомерной продукции, которая используется в композиционных составах различного назначения. Так, на основе побочных продуктов производства полибутадиена (ПППБ) в промышленных масштабах выпускался низкомолекулярный сополимер, который пользовался спросом в лакокрасочных составах, при производстве мастик, герметиков и другой продукции. Основными звеньями, входящими в структуру олигомера на основе ПППБ, являлись звенья стирола и смесь димера, тримеров бутадиена и других его производных (4-винилциклогексен, 1,5,9-циклододекатриен, *n*-додекатетраен-2,4,6,10) [16]. Кроме того, димер бутадиена – 4-винилциклогексен в качестве побочного продукта образуется и при производстве бутадиена [17].

Другими низкомолекулярными полимерными продуктами являются нефтеполимерные смолы (НПС) [18]. НПС, выпускаемые в России, производят из фракции C_9 жидких продуктов пиролиза российских нефтехимических предприятий. Именно поэтому их традиционно принято рассматривать как ароматические. НПС находят широкое применение при производстве лакокрасочных материалов, печатных красок, резиновых изделий, клеевых составов и др. [19]. Однако использованию их в деревообрабатывающей промышленности должного внимания уделено не было. В то же время для защитной обработки древесины и изделий на ее основе могут найти применение НПС, которые по своим показателям не могут быть использованы в других промышленных отраслях.

Основная часть. Целью данной работы являлась модификация древесноволокнистых плит нефтеполимерной смолой, полученной из фракции C_9 .

Объектом исследования служили древесноволокнистые плиты (ДВП) мокрого способа производства (ГОСТ 4598–2018 «Плиты древесноволокнистые мокрого способа производства. Технические условия») толщиной 3,2 мм. Для модификации ДВП использовалась нефтеполимерная смола «Пиропласт-2К» (ТУ 2451-008-49740748-2006 «Смола нефтеполимерная Пиропласт-2К»). Основные технические показатели смолы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика нефтеполимерной смолы

Показатель	Норма	Факт
Внешний вид	Твердое вещество от светло-желтого до коричневого цвета	Соответствует
Температура размягчения, °С, не менее	85	90
Цвет по йодометрической шкале, 10%-ный раствор в ксилоле, мг I_2 /см ³ , не более	20	10
Кислотное число, мг КОН/г, не более	1,0	0,2
Совместимость с растительным маслом	Полная	Полная
Йодное число, г I_2 /100 мг, не более	80	75
Массовая доля воды, %, не более	0,3	0,1
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,3	0,1

Для развернутых исследований по влиянию нефтеполимерной смолы на свойства модифицированных ДВП была подвергнута модификации и исходная НПС. Интерес к модификации НПС базируется на широком ассортименте продукции, выпускаемой на ее основе.

Модификацию НПС проводили с использованием продуктов термической деполимеризации вторичного полиметилметакрилата (ПММА). Вторичный ПММА (органическое стекло) достаточно легко подвергается деструкции с образованием мономерного метилметакрилата с высоким выходом (табл. 2) [20].

Таблица 2

Продукты термического распада полиметилметакрилата

Полимер	T , °С	Глубина распада	Продукты распада, %		
			мономер	олигомер	углеводороды
Полиметилметакрилат	300	60% за 0,5 ч	~100	Следы	Следы

Высокотемпературная деполимеризация карбоцепных полимеров протекает преимущественно по радикальному механизму. С термодинамической точки зрения температура разложения (T) должна быть выше температуры плавления полимера ($T_{пл}$). Для большинства полимеров виниловых мономеров при $T > 200^\circ\text{C}$ равновесные концентрации мономеров не превышают 10^{-3} – 10^{-5} моль/л. Соблюдение термодинамических критериев является необходимым, но не

достаточным условием деполимеризации. Для ее развития необходимо, чтобы макрорадикалы с активным центром на конце цепи были достаточно устойчивы, а полимер не содержал бы подвижных атомов водорода, обычно находящихся при третичных атомах углерода. Степень стабилизации активного центра на конце цепи можно качественно оценить по величине параметра Q (табл. 3).

Таблица 3
Выход мономера при термическом распаде полиметилметакрилата

Полимер	Q	Содержание мономера в продукте распада, %
Полиметилметакрилат	0,74	~100

В случае ПММА выполняются условия, способствующие деполимеризации, поскольку при термическом распаде ПММА выход мономера близок к теоретическому. Получаемые смолообразные продукты имели невысокую молекулярную массу (2000–3000).

Установлено, что применение продукта деполимеризации вторичного ПММА в качестве добавки к нефтеполимерной смоле С₉ можно считать теоретически обоснованным. Процесс высокотемпературной полимеризации винильных компонентов НПС С₉ с продуктами высокотемпературного распада ПММА будет сопровождаться образованием смолообразных продуктов, обладающих комплексом новых свойств. Получение смолообразных продуктов на основе фракции С₉ осуществляли при температуре 250°C в течение 5 ч. Продукт деструкции вторичного ПММА вводили в количестве от 10 до 30% в расчете на полимеризуемые компоненты фракции С₉. Основными компонентами данной фракции являются стирол, α -метилстирол, изомерные винилтолуолы, инден и др. [18].

На основе данных смол готовили толуольные растворы с разными концентрациями (в диапазоне от 15 до 40%). В приготовленные растворы вводили 5% сиккатива НФ-1 в расчете на олигомеры.

Пропитку ДВП проводили в закрытых пропиточных ваннах при температуре 70–75°C. В пропитывающих составах плиты выдерживали на протяжении 1 мин. Пропитанные плиты извлекали из ванны и после удаления толуола подвергали термообработке при температуре 160–165°C в течение 5 ч. За данный промежуток времени происходило удаление остатков растворителя (толуола), а в пропитанной плите протекали последовательно параллельные процессы:

1) деструкция олигомерных цепей, приводящая к введению в состав олигомера содержащих кислород функциональных групп;

2) структурирование смолистых компонентов с образованием сшитых и разветвленных структур [17, 18].

При этом необходимо отметить, что процессы структурирования смолистых компонентов протекали после изъятия пропитанных плит с закалочной камеры. Извлеченные модифицированные образцы ДВП кондиционировали в течение суток и подвергали испытаниям.

В табл. 4 приведены результаты испытания модифицированных образцов древесноволокнистых плит. В зависимости от технологических условий проведения пропитки и последующей термообработки содержание НПС в ДВП изменялось в достаточно узком интервале – от 10,4 до 20,2% от массы плиты. В качестве образца сравнения использовалась ДВП, пропитанная талловым маслом в количестве 15,4%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что толуольный раствор нефтеполимерной смолы хорошо проникал в структуру ДВП. Этому способствовала повышенная температура пропитывающего состава, обеспечивающая снижение вязкости раствора и удаление влаги из плит.

Таблица 4
Экспериментальные значения показателей образцов древесноволокнистых плит, модифицированных нефтеполимерной смолой

Показатель	Талловое масло	Содержание НПС в ДВП, %		
		10,4	16,7	20,2
Прочность при изгибе, МПа	37,6	46,8	52,1	56,3
Разбухание по толщине за 24 ч, %	15,0	13,3	10,4	9,3
Водопоглощение лицевой поверхностью за 24 ч, %	11,7	10,2	9,3	7,5

В табл. 5 представлены результаты испытания образцов древесноволокнистых плит, модифицированных нефтеполимерной смолой с различным содержанием метилметакрилата (ММА). При этом содержание смолы в ДВП составляло 10,4%.

Таблица 5
Экспериментальные значения показателей образцов древесноволокнистых плит, модифицированных нефтеполимерной смолой с различным содержанием метилметакрилата

Показатель	Содержание ММА в НПС, %		
	10	20	30
Прочность при изгибе, МПа	45,3	54,5	59,6
Разбухание по толщине за 24 ч, %	12,9	9,2	8,1
Водопоглощение за 24 ч, %	9,0	7,3	6,4

Из приведенных данных видно, что с увеличением содержания в составе нефтеполимерных смол метилметакрилата прочность при изгибе повышается с 45,3 (при использовании 10% НПС) до 59,6 МПа (при 30% НПС). В данном случае уменьшается разбухание по толщине в 1,59 раза и водопоглощение в 1,40 раза. Характер изменения технических свойств древесноволокнистых плит в случае использования нефтеполимерной смолы с метилметакрилатом может быть обусловлен возрастающей ролью реакций высокотемпературной полимеризации, обеспечивающих ограниченность доступа кислорода вглубь композиции и уменьшающих вымываемость пропитывающих составов из изделий различными растворителями в процессе эксплуатации [21].

Заключение. Таким образом, на основании полученных данных определено, что полученные на основе побочных продуктов нефтехимии пропитывающие составы, состоящие из нефтеполимерной смолы и вторичного полиметилметакрилата, позволяют придать изделиям из древесноволокнистых плит повышенные прочностные показатели (на 24,5–49,7%), водо- и влагостой-

кость (в 1,15–1,56 раза). Характер изменения указанных свойств обусловлен глубиной проникновения пропитывающего состава в структуру древесноволокнистых плит. Определено, что дополнительное введение в состав олигомерных молекул нефтеполимерных смол C_9 звеньев метилметакрилата в количестве 30% позволяет получать модифицированные плиты, обладающие более высокими прочностными показателями (в 1,3 раза) и стойкостью к действию воды и влаги (до 1,6 раза) по сравнению с образцами, пропитанными нефтеполимерными смолами с 10% метилметакрилата. В данном случае определяющими факторами изменения свойств являются ограниченность проникновения кислорода вглубь изделия и меньшая вымываемость пропитывающих составов за счет протекания процессов полимеризации.

Применение в пропитывающих составах олигомерных продуктов, полученных на основе отходов и побочных продуктов нефтехимической промышленности и вторичного полимерного сырья, позволяет решить ряд экологических проблем, а также более полно и рационально использовать природные ресурсы.

Список литературы

1. Соколов Л. И. Переработка и использование нефтесодержащих отходов. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 128 с.
2. Шишакина О. А., Паламарчук А. А. Полимерные композиционные материалы в строительстве // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 12 (2). С. 234–238.
3. Eco-friendly, high-density fiberboards bonded with urea-formaldehyde and ammonium lignosulfonate / P. Antov [et al.] // *Polymers*. 2021. Vol. 13, no. 2. P. 220.
4. Шарипов Э. Н. Технология получения и применения малеинизированных полупродуктов синтеза изопрена для улучшения конфекционных свойств шинных резиновых смесей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06. Казань, 2009. 18 с.
5. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М.: Машиностроение, 2008. 383 с.
6. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных). В 2 ч. Казань: КГТУ, 2010. Ч. 1. 506 с.
7. Алькорез 2975 – новая технологическая добавка для резиновых смесей / Н. А. Охотина [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 7. С. 104–109.
8. Царева Е. Е. Нефтеполимерные смолы в полимерной промышленности // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. № 7. С. 163–167.
9. Думский Ю. В. Нефтеполимерные смолы. М.: Химия, 1988. 168 с.
10. Справочник резинщика. Материалы резинового производства / П. И. Захарченко [и др.]. М.: Химия, 1971. 608 с.
11. Кирпичников П. А., Аверко-Антонович Л. А., Аверко-Антонович Ю. О. Химия и технология синтетического каучука. М.: Химия, 1970. 528 с.
12. Production of Lightweight Three-Layered Particleboards Using Waste Tire Rubbers / С. Köse [et al.] // *Drvna industrija*. 2023. Vol. 74, no. 3. P. 277–286.
13. Physical methods for the modification of the natural fibers surfaces / F. Tanasă [et al.] // *Surface Treatment Methods of Natural Fibres and their Effects on Biocomposites*. 2022. P. 125–146.
14. Pizzi A., Papadopoulos A. N., Policardi F. Wood composites and their polymer binders // *Polymers*. 2020. Vol. 12, no. 5. P. 1115.
15. Properties of eco-friendly particleboards bonded with ligno-sulfonate-urea-formaldehyde adhesives and PMDI as a crosslinker / P. Bekhta [et al.] // *Materials*. 2021. Vol. 14, no. 17. P. 4875.
16. Никулин С. С., Седых В. А., Никулина Н. С. Пластификация полибутадиена олигомером, полученным на основе побочных продуктов производства растворного каучука // *Химическая технология*. 2012. Т. 13, № 4. С. 210–215.

17. Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза / С. С. Никулин [и др.]. М.: Химия, 1989. 240 с.
18. Думский Ю. В., Бутов Г. М. Химия и технология нефтеполимерных смол. М.: Химия, 1999. 312 с.
19. Повысители клейкости на основе нефтеполимерных смол в резиновых смесях / Ж. С. Пашок [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2019. № 2 (223). С. 53–69.
20. Салимгареева В. Н., Колесов С. В. Термическая деструкция и стабилизация полиметилметакрилата // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50, № 7. С. 3–12.
21. Нефтеполимерная смола на основе фракции C₉ – модификатор древесноволокнистых плит / Н. С. Никулина [и др.] // Лесной журнал. 2016. № 5. С. 167–176.

References

1. Sokolov L. I. *Pererabotka i ispol'zovaniye neftesoderzhashchikh otkhodov* [Processing and use of oily waste]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2017. 128 p. (In Russian).
2. Shishakina O. A., Palamarchuk A. A. Polymer composite materials in construction. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research], 2019, no. 12 (2), pp. 234–238 (In Russian).
3. Antov P., Savov V., Krišťák L., Réh R., Mantanis G. I. Eco-friendly, high-density fiberboards bonded with urea-formaldehyde and ammonium lignosulfonate. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 220.
4. Sharipov E. N. *Tekhnologiya polucheniya i primeneniya maleinizirovannykh poluproduktov sinteza izoprena dlya uluchsheniya konfektsionnykh svoystv shinnykh rezinovykh smesey. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [The technology of obtaining and using maleicized semi-products of isoprene synthesis for improving the confection properties of tire rubber compounds. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Kazan', 2009. 18 p. (In Russian).
5. Pichugin A. M. *Materialovedcheskiye aspekty sozdaniya shinnykh rezin* [Material Science Aspects of Making Rubber Rubber]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008. 383 p. (In Russian).
6. Grishin B. S. *Materialy rezinovoy promyshlennosti (informatsionno-analiticheskaya baza dannykh). V 2 chastyakh* [Materials of the rubber industry (information-analytical database). In 2 parts]. Kazan', KGTU Publ., 2010. Part 2. 506 p. (In Russian).
7. Okhotina N. A., Vedyashkina D. A., Il'yazov M. F., Savel'chev A. P., Krokhina S. S., Mokhnatkina E. G., Mansurov R. I. Alcherez 2975 is a new technological additive for rubber compounds. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2011, no. 7, pp. 104–109 (In Russian).
8. Tsareva E. E. Petropolymer resins in the polymer industry. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2012, no. 7, pp. 163–167 (In Russian).
9. Dumskiy Yu. V. *Neftepolimernyye smoly* [Petropolymer resins]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 168 p. (In Russian).
10. Zakharchenko P. I., Yashunskaya F. I., Evstratov V. F., Orlovskiy P. N. *Spravochnik rezinshchika. Materialy rezinovogo proizvodstva* [Handbook of rubber. Rubber production materials.]. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 608 p. (In Russian).
11. Kirpichnikov P. A., Averko-Antonovich L. A., Averko-Antonovich Yu. O. *Khimiya i tekhnologiya sinteticheskogo kauchuka* [Chemistry and technology of synthetic rubber]. Moscow, Khimiya Publ., 1970. 528 p. (In Russian).
12. Köse C., Öncel M., Olgun C., Kaymakci A. I. Production of Lightweight Three-Layered Particleboards Using Waste Tire Rubbers. *Drvna industrija*, 2023, vol. 74, no. 3, pp. 277–286.
13. Tanasa F., Teacă C. A., Nechifor M., Cristina M., Stanciu C. Physical methods for the modification of the natural fibers surfaces. *Surface Treatment Methods of Natural Fibres and their Effects on Biocomposites*, 2022, pp. 125–146.
14. Pizzi A., Papadopoulou A. N., Policardi F. Wood composites and their polymer binders. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 5, p. 1115.
15. Bekhta P., Noshchenko G., Réh R., Kristak L., Sedliačik J., Antov P., Mirski R., Savov V. Properties of eco-friendly particleboards bonded with ligno-sulfonate-urea-formaldehyde adhesives and PMDI as a crosslinker. *Materials*, 2021, vol. 14, no. 17, p. 4875.
16. Nikulin S. S., Sedyh V. A., Nikulina N. S. Plasticization of polybutadiene with an oligomer obtained from by-products of solution rubber production. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology], 2012, vol. 13, no. 4, pp. 210–215 (In Russian).
17. Nikulin S. S., Shein V. S., Zlotskij S. S., Cherkashin M. I., Rahmankulov D. L. *Othody i pobochnyye produkty neftekhimicheskikh proizvodstv – syr'ye dlya organicheskogo sinteza* [Waste and by-products of petrochemical production – raw materials for organic synthesis]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 240 p. (In Russian).

18. Dumskiy Yu. V., Butov G. M. *Khimiya i tekhnologiya neftepolimernykh smol* [Chemistry and technology of petroleum polymer resins]. Moscow, Khimiya Publ., 1999. 312 p. (In Russian).

19. Shashok Zh. S., Perfil'eva S. A., Prokopchuk N. R., Uss E. P., Yusevich A. I., Trusov K. I. Tackifiers based on petroleum-polymer resins in rubber compounds. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical technologies, biotechnologies, geocology, 2019, no. 2 (233), pp. 53–69 (In Russian).

20. Salimgareeva V. N., Kolesov S. V. Thermal destruction and stabilization of polymethyl methacrylate. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [News of universities. Chemistry and chemical technology], 2007, vol. 50, no. 7, pp. 3–12 (In Russian).

21. Nikulina N. S., Vostrikova G. Yu., Dmitrenkov A. I., Filimonova O. N., Nikulin S. S. Petroleum polymer resin based on fraction C9 – modifier of wood fiber boards. *Lesnoy zhurnal* [Forestry magazine], 2016, no. 5, pp. 167–176 (In Russian).

Информация об авторах

Никулина Надежда Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности. Воронежский институт повышения квалификации сотрудников МЧС России (ул. Краснознаменная, 231, 394052, г. Воронеж, Российская Федерация). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Никулин Сергей Саввович – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности. Воронежский государственный университет инженерных технологий (пр-т Революции, 19, 394036, г. Воронеж, Российская Федерация). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Черная Наталья Викторовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: chornaya@belstu.by

Шашок Жанна Станиславовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

Усс Елена Петровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: uss@belstu.by

Information about the authors

Nikulina Nadezhda Sergeevna – PhD (Engineering), Senior Lecture, the Department of Fire Safety. Voronezh Institute of Advanced Training of Employees GPS EMERCOM of Russia (231 Krasnoznamennaya str., 394052, Voronezh, Russian Federation). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Nikulin Sergey Savvovich – Corresponding Member of the RAE, DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Technology of Organic Compounds, Polymer Processing and Techno-sphere Safety. Voronezh State University of Engineering Technologies (19 Revolyutsii Ave., 394036, Voronezh, Russian Federation). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Chernaya Natal'ya Viktorovna – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chornaya@belstu.by

Shashok Zhanna Stanislavovna – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by

Uss Elena Petrovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uss@belstu.by

Поступила 11.11.2024