

УДК 678.046

Н. С. Никулина¹, С. С. Никулин², Н. В. Черная³, Ж. С. Шашок³, Е. П. Усс³¹ Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний (Российская Федерация)² Воронежский государственный университет инженерных технологий (Российская Федерация)³ Белорусский государственный технологический университет**ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОЛИГОМЕРОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИИ, СОДЕРЖАЩИХ СТИРОЛ, ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ**

Статья посвящена исследованию возможности применения олигомеров на основе димеров и тримеров бутадиена, образующихся в качестве побочных продуктов при производстве полибутадиена, в пропиточных составах для модификации свойств натуральной древесины. Получение олигомеров на основе побочных продуктов при производстве полибутадиена осуществляли в присутствии алюмосиликатного катализатора. В работе описан процесс получения олигомеров, а также установлено влияние содержания стирола в исходной смеси мономеров и природы катализатора на выход олигомеров. В данном исследовании были приготовлены два вида гибридных пропитывающих состава. Гибридный пропитывающий композит включал в свой состав олигомер, приготовленный из побочных продуктов производства полибутадиена с содержанием стирола 50%, а в качестве второго компонента использовали «Лак КОРС» и «Лак СТАМ» (олигомеры на основе отходов стирольных производств). Общее содержание стирола в пропитывающем гибридном составе выдерживали от 50 до 80%. Определено, что большее влияние на стойкость древесно-полимерного композита к действию воды и влаги оказывает содержание стирола в исходном олигомере. Установлено, что чем выше содержание стирола, тем меньше водопоглощение и разбухание образцов древесно-полимерного композита в воде. На основании результатов определения свойств модифицированной древесины выявлена возможность применения для защитной обработки гибридного пропитывающего состава на основе олигомера из побочных продуктов производства полибутадиена с «Лаком КОРС» и «Лаком СТАМ», обеспечивающего получаемому композиту эффективную защиту от действия воды и влаги.

Ключевые слова: олигомер, гибридный пропитывающий состав, модификация, водопоглощение, влагопоглощение.

Для цитирования: Никулина Н. С., Никулин С. С., Черная Н. В., Шашок Ж. С., Усс Е. П. Приготовление олигомеров на основе отходов и побочных продуктов нефтехимии, содержащих стирол, для модификации древесины // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 2 (295). С. 26–33.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-4.

N. S. Nikulina¹, S. S. Nikulin², N. V. Chernaya³, Zh. S. Shashok³, E. P. Uss³¹ Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service (Russian Federation)² Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation)³ Belarusian State Technological University**PREPARATION OF OLIGOMERS BASED ON WASTE AND BY-PRODUCTS OF PETROCHEMISTRY CONTAINING STYRENE FOR MODIFICATION OF WOOD**

The article is devoted to the study of the possibility of using oligomers based on butadiene dimers and trimers formed as by-products in the production of polybutadiene in impregnating compositions for modifying the properties of natural wood. The production of oligomers based on by-products in the production of polybutadiene was carried out in the presence of an aluminosilicate catalyst. The work describes the process of obtaining oligomers, and also established the effect of the styrene content in the initial mixture of monomers and the nature of the catalyst on the yield of oligomers. In this study, two types of hybrid impregnating compositions were prepared. The hybrid impregnating composite included an oligomer prepared from by-products of polybutadiene production with a styrene content of 50%, and the second component was “KORS Varnish” and “STAM Varnish”, which are oligomers based on styrene production waste. The total styrene content in the impregnating hybrid composition was maintained from 50 to 80%. It was found that the styrene content in the original oligomer has a great influence on the resistance of the wood-polymer composite to water and moisture. It was determined that the higher the styrene content, the lower the water absorption and swelling of the wood-polymer composite samples in water. Based on the results of determining the properties of modified wood, the possibility of using a hybrid impregnating composition for protective treatment based on an oligomer of by-products of polybutadiene production

with “KORS Varnish” and “STAM Varnish” was established, providing effective protection for the resulting composite from the effects of water and moisture.

Keywords: oligomer, hybrid impregnating composition, modification, water absorption, moisture absorption.

For citation: Nikulina N. S., Nikulin S. S., Chernaya N. V., Shashok Zh. S., Uss E. P. Preparation of oligomers based on waste and by-products of petrochemistry containing styrene for modification of wood. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 2 (295), pp. 26–33 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-4.

Введение. В настоящее время поисковые исследования, направленные на создание безотходных технологических процессов, доминируют во всем мире. Однако, несмотря на внедрение новых технологий в некоторых промышленных отраслях, позволяющих снизить загрязнение окружающей среды, остаются нерешенными вопросы полной утилизации отходов и побочных продуктов действующих производств [1–3]. Анализируя компонентный состав ряда отходов химической, нефтехимической и других промышленных отраслей, можно сделать вывод о том, что в их составе присутствуют ценные и дорогостоящие продукты, которые в ряде случаев получают целенаправленными синтезами с использованием первичного и дорогостоящего углеводородного сырья [4, 5].

При полимеризации бутадиена на металлокомплексных катализаторах в качестве побочных продуктов образуются димеры, тримеры бутадиена и иные побочные продукты [4, 6]. Кроме того, они образуются и на других предприятиях с использованием бутадиена, а также в процессе эмульсионной сополимеризации бутадиена со стиролом [7].

Димеры и тримеры бутадиена ((4-винилциклогексен (ВЦГ), циклододекатриен-1,5,9 (ЦДТ), н-додекатетраен-2,4,6,10 (НДТ)) содержат непереломные связи и могут служить ценным исходным сырьем как для органического синтеза, так и для получения олигомерных материалов, способных найти применение в качестве модификаторов при получении древеснополимерных композитов (ДПК). В опубликованном исследовании [7] было показано, что для проведения некоторых видов работ димеры и тримеры бутадиена получают целенаправленными синтезами. В работе [8] установлено, что полимеризация побочных продуктов производства полибутадиена (ПППБ) в присутствии радикальных инициаторов протекает с невысоким выходом олигомерных продуктов. Для увеличения выхода олигомеров в реакционную смесь вводится такой мономер, как стирол. Введение стирола позволяет увеличить не только общий выход по целевым продуктам, но и повысить ряд показателей изготовленных

олигомеров, что положительно отражается на свойствах получаемых ДПК. На основе данного олигомера в 80–90 г. XX в. был освоен выпуск лакокрасочных материалов, также он применялся в композиционных составах различного назначения, при изготовлении мастик, герметиков и др. [9].

Однако наличие опалесценции, высокая цветность и другие недостатки сдерживали широкое использование димеров и тримеров бутадиена. В то же время данные олигомеры могут с успехом применяться в деревообрабатывающей промышленности для модификации древесины и защитной обработки изделий на ее основе. В литературных источниках [10–12] описан ряд органических соединений, используемых для модификации натуральной древесины и материалов на ее основе. Применение в этом направлении олигомерных составов, приготовленных из отходов и побочных продуктов химической и нефтехимической промышленности, позволит более рационально использовать ценное углеводородное сырье и решить ряд экологических проблем.

Основная часть. Целью данной работы являлась модификация древесины олигомерными материалами, полученными из отходов и побочных продуктов нефтехимии, содержащих стирол.

Используемые для приготовления пропиточного состава побочные продукты производства полибутадиена имели следующий состав, мас. %: 4-винилциклогексен (ВЦГ) – 38,2; толуол – 43,4; тяжелый остаток (тримеры бутадиена: 1,5,9-циклододекатриен (ЦДТ), н-додекатетраен-2,4,6,10 (НДТ) и другие продукты) – 18,4.

В литературных источниках [7, 13] были описаны способы получения олигомерных материалов на основе отходов и побочных продуктов нефтехимии, которые рекомендовалось использовать в производстве лакокрасочных материалов, композиционных составах различного назначения, в том числе и для защитной обработки древесных материалов, и других направлениях.

Получение олигомеров на основе ПППБ осуществляли в присутствии алюмосиликатного катализатора (АСК), который готовили с применением глин Латненского месторождения Воронежской области. Состав их представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав глин Латненского месторождения

Глины	Содержание основных компонентов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
АСК-1	37,2	49,3	1,4	1,7	0,8	0,2	0,4	0,4
АСК-2	33,4	51,7	1,2	1,8	1,0	0,3	0,4	0,5
АСК-3	29,5	54,5	1,5	1,6	0,7	0,3	0,5	0,4

Глины смешивались с водой до получения тестообразной массы. Из нее формировали гранулы диаметром 3–5 мм и длиной 5–10 мм. Приготовленные гранулы подсушивали в сушильном шкафу при 90–100°C в течение 2–3 ч, после чего подвергали термообработке при 450–500°C в течение 3–5 ч. Полученный таким образом катализатор хранили в эксикаторе без доступа воздуха. (Данный катализатор был использован в реальных промышленных масштабах при производстве полидиеновой олифы.)

Процесс олигомеризации осуществляли в герметично закрытом стальном автоклаве объемом 1 дм³, снабженном рубашкой для подачи теплоносителя для поддержания заданного температурного режима. В автоклав загружали 500–600 г полимеризуемой мономерной смеси и в сетчатом стакане 100 г активированного АСК. Содержание полимеризуемой части (мономеров) поддерживали на уровне 50 ± 2%. Через заданные промежутки времени из реактора проводили отборы проб, в которых определяли сухие остатки путем удаления легколетучих фракций (толуол, незаполимеризовавшиеся мономеры и др.). Состав исходной мономерной смеси изменялся в следующих пределах, мас. % – непереломные ППППБ : стирол от 80 : 20 до 20 : 80. Процесс проводили при температуре 160–165°C в течение 24 ч. Наилучшие результаты были получены с использованием алюмосиликатного катализатора АСК-3 (табл. 2).

Одна из возможных схем процесса сополимеризации непереломных соединений, содержащихся в ППППБ со стиролом, может быть представлена на рисунке.

Синтезированные олигомеры обладают невысокой молекулярной массой, малыми размерами макромолекул и должны относительно легко проникать в поры и капилляры древесины с последующим их структурированием. Данные олигомеры

по своим показателям приближаются к связующим, пропитывающим составам, лакам и маслам, широко используемым в деревообрабатывающей промышленности. Не исключается также возможность взаимодействия между компонентами древесины (в особенности лигнина), содержащими в своей структуре двойные связи и функциональные группы, с олигомерным модификатором.

Таблица 2

Влияние содержания стирола в исходной смеси мономеров и природы катализатора на выход олигомеров

Содержание стирола в исходной смеси мономеров, %	Выход олигомеров, %		
Катализатор	АСК-1	АСК-2	АСК-3
Содержание, %: SiO ₂ / Al ₂ O ₃	37,2 / 49,3	33,4 / 51,7	29,5 / 54,5
20	65–67	70–72	73–76
40	80–82	84–86	87–90
60	90–93	92–94	93–95
80	94–96	95–97	96–98

Показатели олигомеров на основе ППППБ представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели олигомерных материалов на основе побочных продуктов производства полибутадиена

Показатель	Содержание стирола, %		
	0	40	80
Бромное число, мг Br ₂ /100 г	163,2	112,1	69,7
Плотность, кг/м ³	1060	1062	1066
Температура каплепадения, К	–	–	323

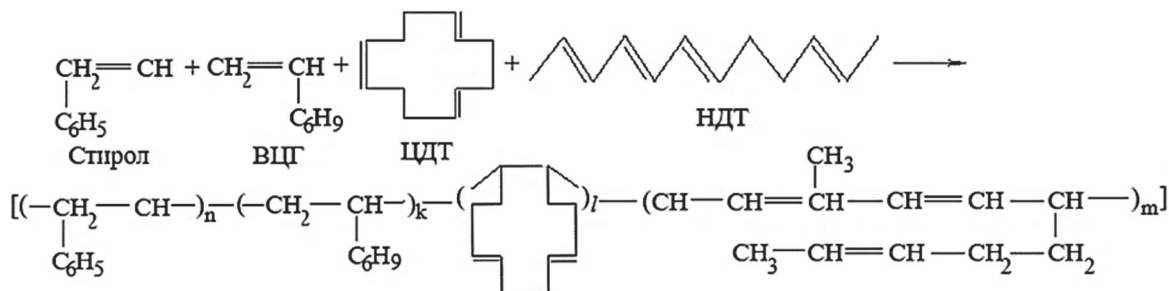


Схема процесса сополимеризации непереломных соединений, содержащихся в ППППБ со стиролом

При низком содержании стирола (до 40 мас. %) получаемый продукт представляет собой вязкую, маслообразную массу темно-коричневого цвета в обычных условиях (20–25°C). Повышение содержания стирола до 80 мас. % приводит к возрастанию вязкости системы, и при обычных условиях система теряет маслообразную консистенцию и переходит в твердое состояние с температурой размягчения 35–50°C.

Молекулярная масса продуктов, полученных при невысоком содержании стирола в исходной мономерной смеси (до 40 мас. %), составляла 700–900 ед. При повышении содержания стирола до 80 мас. % молекулярная масса олигомера увеличивалась до 1400–1700 ед.

В приготовленный олигомерный продукт вводили 5,0 мас. % сиккатива НФ-1 (ТУ 6-24-68-93) в расчете на олигомер.

Показатели приготовленных олигомеров определяли по общепринятым методикам для лакокрасочных материалов (ГОСТ Р 51694–2000 (ИСО 2808-97)).

В качестве второго компонента для приготовления пропитывающего состава использовали кубовые остатки ректификации стирола (КОРС) [12]. Содержащий стирол олигомер был приготовлен из двух видов кубовых остатков его производства: кубовые остатки от производства стирола из этилбензола («Лак КОРС» (ТУ 38.103279)) и совместного производства стирола и оксида пропилен («Лак СТАМ» (ТУ 38.402.3)) [12]. В исследовании были использованы два вида данных олигомеров для приготовления пропитывающих составов.

Краткая характеристика применяемых олигомеров:

- «Лак КОРС» – содержание малеинового ангидрида ~ 5,0%; молекулярная масса ~ 6000 ед.;
- «Лак СТАМ» – содержание малеиновой кислоты ~ 5,0%; молекулярная масса ~ 5000 ед.

В процессе синтеза олигомера примерно 50% малеиновой кислоты превращается в малеиновый ангидрид (температура 160–180°C) [14].

Применение олигомеров на основе стирола и ПППБ позволяет комплексно решить вопросы использования побочных продуктов нефтехимии и снизить потери ценного углеводородного сырья. Для приготовления пропитывающего состава использовали олигомер на основе ПППБ с содержанием стирола 40–60 мас. %. Олигомер на основе стирольного производства вводили в продукт на основе ПППБ исходя из общего содержания стирола в олигомерной смеси в количестве ~80%.

Экспериментальные результаты представлены в табл. 4.

Анализ результатов, представленных в таблице, свидетельствует о том, что на стойкость ДПК к действию воды и влаги большое влияние оказы-

вает содержание стирола в исходном олигомере. Чем выше содержание стирола, тем меньше водопоглощение и разбухание образцов ДПК в воде. Так, с увеличением содержания стирола в олигомере ПППБ водопоглощение уменьшается в 1,5 раза после суток испытания и в 1,4 раза – после 30 сут испытания. Аналогичный характер изменения свойств выявлен и для показателей разбухания в радиальном и тангенциальном направлениях.

Таблица 4

Показатели модифицированной древесины, содержащей олигомер с различной дозировкой стирола

Содержание стирола в олигомере на основе ПППБ, %	Показатель		
	водопоглощение, %	разбухание в радиальном направлении, %	разбухание в тангенциальном направлении, %
0	28,0 / 81,9	5,5 / 7,8	8,4 / 9,8
20	25,9 / 74,4	4,9 / 7,0	7,6 / 8,8
40	24,1 / 68,6	4,5 / 6,6	6,9 / 8,0
60	20,2 / 65,3	3,9 / 6,0	6,1 / 7,4
80	18,1 / 60,2	3,1 / 5,4	5,4 / 7,0

Примечание. Числитель и знаменатель – при продолжительности испытания 1 и 30 сут соответственно; температура пропитки 95–100°C; продолжительность пропитки 10 ч; растворитель – толуол.

Установленная зависимость является важной с практической точки зрения. Однако стирол как исходный мономер, используемый для получения пропитывающего состава на основе ПППБ, является дорогим и дефицитным продуктом и активно иприменяется в производстве разноплановых полимеров (полистирола, сополимеров с бутадиеном и др.) [6, 15]. С экономической точки зрения целесообразно если не полностью, то хотя бы частично заменить стирол на другие содержащие его продукты. Такими отходами являются побочные продукты стирольных производств. Использование их позволит достичь удачного решения не только экономических, но и экологических вопросов. В 70–80-х гг. прошлого столетия на основе побочных продуктов стирольного производства были разработаны технологии получения лакокрасочных материалов [4, 7].

Побочные продукты стирольных производств обладают темно-коричневым цветом. Изготовленные на их основе лакокрасочные материалы приобретают тот же цвет, что снижает области их применения. В то же время для защитной обработки древесных материалов цвет пропитывающего состава не имеет доминирующего значения.

Дальнейшие исследования в данном направлении были направлены на приготовление гибридного пропитывающего композита, включающего в свой состав олигомер, приготовленный из ПППБ

с содержанием стирола 50%, и его смешение с олигомерами на основе отходов стирольных производств. Общее содержание стирола в пропитывающем гибридном составе варьировалось от 50 до 80%.

В табл. 5 представлены экспериментальные результаты определения свойств древесины, модифицированной гибридным пропиточным составом, включающим «Лак КОРС».

Таблица 5
Показатели древесины березы, модифицированной олигомерами на основе ПППБ, включающим в свой состав «Лак КОРС»

Характеристика олигомера		Показатель		
содержание стирола в исходном олигомере на основе ПППБ, %	содержание «Лака КОРС» в гибридном составе для пропитки, %	водопоглощение, %	разбухание в радиальном направлении, %	разбухание в тангенциальном направлении, %
50	0	$\frac{22,8}{67,7}$	$\frac{4,0}{5,6}$	$\frac{6,1}{7,8}$
50	10	$\frac{13,9}{46,3}$	$\frac{2,8}{4,4}$	$\frac{4,5}{6,0}$
50	20	$\frac{10,4}{39,8}$	$\frac{2,5}{3,9}$	$\frac{4,2}{5,4}$
50	30	$\frac{9,6}{35,7}$	$\frac{2,4}{3,5}$	$\frac{4,0}{5,1}$

Примечание. Числитель и знаменатель – при продолжительности испытания 1 и 30 сут соответственно; температура пропитки 95–100°C; продолжительность пропитки 10 ч; растворитель – толуол.

Из таблицы видно, что с включением в гибридный пропитывающий состав «Лака КОРС» и увеличением его содержания значительно уменьшается водопоглощение при различной продолжительности испытания (в 1,5–1,6 раза при содержании 10% и в 1,9–2,4 раза – при содержании 30%). Следует отметить, что количественное содержание «Лака КОРС» оказывает менее существенное влияние на показатели разбухания в радиальном и тангенциальном направлениях. В данном случае после суток испытания значение показателя разбухания в радиальном направлении для образца без «Лака КОРС» составляет 4,0%, а для образцов с указанным компонентом находится в пределах 2,8–2,4%. Аналогичные зависимости выявлены и для показателя разбухания в тангенциальном направлении. В то же время при увеличении продолжительности испытания до 30 сут влияние содержания «Лака КОРС» проявляется в большей мере, поскольку показатель разбухания в радиальном направлении для образца без указанного компонента составляет 5,6%, а для образца с содержанием 10% «Лака КОРС» – 4,4 и 3,5% при содержании 30%.

В табл. 6 представлены экспериментальные результаты определения свойств древесины, модифицированной гибридным пропиточным составом, включающим «Лак СТАМ».

Таблица 6
Показатели древесины березы, модифицированной олигомерами на основе ПППБ, включающим в свой состав «Лак СТАМ»

Характеристика олигомера		Показатель		
содержание стирола в исходном олигомере на основе ПППБ, %	содержание «Лака СТАМ» в гибридном составе для пропитки, %	водопоглощение, %	разбухание в радиальном направлении, %	разбухание в тангенциальном направлении, %
50	0	$\frac{22,8}{67,7}$	$\frac{4,0}{5,6}$	$\frac{6,1}{7,8}$
50	10	$\frac{14,4}{47,6}$	$\frac{2,9}{4,6}$	$\frac{4,6}{6,3}$
50	20	$\frac{12,5}{40,1}$	$\frac{2,7}{4,3}$	$\frac{4,8}{5,7}$
50	30	$\frac{10,3}{37,2}$	$\frac{2,6}{3,7}$	$\frac{4,4}{5,5}$

Примечание. Числитель и знаменатель – при продолжительности испытания 1 и 30 сут соответственно; температура пропитки 95–100°C; продолжительность пропитки 10 ч; растворитель – толуол.

Результаты исследования выявили, что, как и в случае с «Лаком КОРС», с увеличением содержания «Лака СТАМ» значительно уменьшается водопоглощение при различной продолжительности испытания (в 1,4–1,6 раза при содержании 10% и в 1,8–2,2 раза – при содержании 30%).

Сопоставительный анализ экспериментальных результатов установил, что присутствие малеиновых групп в олигомере, приготовленном из кубовых остатков от производства стирола дегидрированием этилбензола в пропитывающем составе, повышают его защитные свойства. Однако древесно-полимерный композит, полученный с использованием данного гибридного пропитывающего состава, обладает улучшенными защитными свойствами по сравнению с композитом, пропитанным составом на основе ПППБ со стиролом (табл. 4). Такой положительный эффект можно объяснить присутствием малеинового ангидрида, способного усиливать защитные свойства пропитывающего состава за счет дополнительного блокирования отрицательно заряженных активных центров (гидроксильных групп) целлюлозных волокон и лигнина.

Частичное химическое взаимодействие смоляных кислот (в особенности левопимаровой и абиетиновой) с малеиновым ангидридом способствует дополнительному образованию гидрофобных

соединений за счет конъюгированных двойных связей, поэтому образовавшиеся гидрофобные эфирные связи усиливают защитное действие гибридного пропитывающего состава на древесину. Присутствие в древесине модифицированных гидроксильных групп и образовавшихся на их основе гидрофобных эфирных связей совместно с компонентами пропитывающего состава создают прочный древесно-полимерный каркас, способный эффективно противостоять действию воды и влаги.

Замена в составе гибридного пропитывающего состава «Лака КОРС» на «Лак СТАМ» показала (табл. 6), что данная защитная обработка древесины березы позволяет получить ДПК, по своим показателям превосходящий композит, приготовленный на основе олигомера из ППППБ и стирола. Однако изготовленный ДПК с применением гибридного состава на основе ППППБ и «Лака СТАМ» приближается по своим показателям к ДПК, приготовленному из ППППБ и «Лака КОРС». Учитывая тот факт, что в «Лаке СТАМ» присутствуют группы не только малеинового ангидрида,

но и малеиновой кислоты, можно предположить, что при повышенных температурах она может выполнять функцию катализатора и ускорять процесс образования эфирных связей между малеиновой компонентой и гидроксильными группами присутствующих волокон. Возникающий древесно-полимерный каркас обеспечивает композиту повышенную водо- и влагостойкость.

Закключение. Таким образом, на основании полученных данных определено, что для защитной обработки древесины и ДПК могут быть использованы олигомерные материалы, приготовленные из ППППБ и стирола.

Установлена возможность применения для защитной обработки древесины гибридного пропитывающего состава на основе олигомера из ППППБ с «Лаком КОРС» и «Лаком СТАМ», обеспечивающим получаемому композиту эффективную защиту от действия воды и влаги.

Использование олигомеров на основе стирольного производства позволяет частично заменить первичный стирол, применяемый при изготовлении олигомера из ППППБ.

Список литературы

1. Филимонова О. Н. Модификация эластомерных покрытий сополимером на основе отходов стирола и малеиновой кислоты // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50, № 12. С. 82–86.
2. Неклюдов А. Д., Иванкин А. Н. Переработка органических отходов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 380 с.
3. Утилизация промтоходов нефтеперерабатывающих предприятий / В. П. Малкин [и др.]. М.: Редакция журнала ХНГМ, 2001. 118 с.
4. Кроль В. А., Ривин Э. М., Щербань Г. Т. Свойства и применение диеновых олигомеров. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1984. 41 с.
5. Фельдблюм В. Ш., Москвичев Ю. А. Непредельные углеводороды и их производные: новые возможности синтеза, катализа, технологии. М.: Мир, 2003. 174 с.
6. Химия и технология синтетического каучука / Л. А. Аверко-Антонович [и др.]. М.: Химия: КолосС, 2008. 357 с.
7. Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза / С. С. Никулин [и др.]. М.: Химия, 1989. 240 с.
8. Радиальная полимеризация олигомеров бутадиена / С. С. Никулин [и др.] // Промышленность СК, шин и РТИ. 1985. № 6. С. 11–12.
9. Свойства пленкообразователей на основе отходов производства синтетического каучука / С. С. Никулин [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. 1988. № 4. С. 26–28.
10. Шамаев В. А., Никулина Н. С., Медведев И. Н. Модифицирование древесины. Воронеж: ВГЛТА, 2012. 511 с.
11. Мельникова Л. В. Технология композиционных материалов из древесины. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 235 с.
12. Филимонова О. Н. Переработка и применение кубовых остатков ректификации стирола. М.: Академия Естествознания, 2009. 76 с.
13. Петыхин Ю. М., Концова Л. В. Отходы нефтехимических производств – сырье для синтетических продуктов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1991. 72 с.
14. Филимонова О. Н., Никулин С. С. Исследование процесса переработки ацетофенонового кубового остатка ректификации стирола // Журнал прикладной химии. 2002. Т. 75. Вып. 8. С. 1315–1319.
15. Жагфаров Ф. Г., Григорьева Н. А., Краюшкин Ф. А. Современные тенденции развития рынка и технологии производства полистирола // НефтеГазоХимия. 2023. № 1. С. 27–32.

References

1. Filimonova O. N. Modification of elastomer coatings with a copolymer based on styrene and maleic acid waste. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [News of universities. Chemistry and chemical technology], 2007, vol. 50, no. 12, pp. 82–86 (In Russian).

2. Neklyudov A. D., Ivankin A. N. *Pererabotka organicheskikh otkhodov* [Processing of organic waste]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2006. 380 p. (In Russian).
3. Malkin V. P., Burba A. A., Zelenina T. V., Yagudin N. G. *Utilizatsiya promotkhodov neftepererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Disposal of industrial waste from oil refineries]. Moscow, Redaktsiya zhurnalа KHNGM Publ., 2001. 118 p. (In Russian).
4. Krol V. A., Rivin E. M., Shcherban G. T. *Svoystva i primeneniye diyenovykh oligomerov* [Properties and application of diene oligomers]. Moscow, TsNIITeneftkhim Publ., 1984. 41 p. (In Russian).
5. Feldblyum V. Sh., Moskvichev Yu. A. *Nepredel'nyye uglevodorody i ikh proizvodnyye: novyye vozmozhnosti sinteza, kataliza, tekhnologii* [Unsaturated hydrocarbons and their derivatives: new possibilities of synthesis, catalysis, technology]. Moscow, Mir Publ., 2003. 174 p. (In Russian).
6. Averko-Antonovich L. A., Averko-Antonovich Yu. O., Davletbaeva I. M., Kirpichnikov P. A. *Khimiya i tekhnologiya sinteticheskogo kauchuka* [Chemistry and technology of synthetic rubber]. Moscow, Khimiya Publ., KolosS Publ., 2008. 357 p. (In Russian).
7. Nikulin S. S., Shein V. S., Zlotskiy S. S., Cherkashin M. I., Rahmankulov D. L. *Otkhody 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).
8. Nikulin S. S., Shein V. S., Misin V. M., Cherkashin M. I. Radical polymerization of butadiene oligomers. *Promyshlennost' SK, shin i RTI* [Industry of rubber, tires and rubber products], 1985, no. 6, pp. 11–12 (In Russian).
9. Nikulin S. S., Sergeev Yu. A., Tertyshnik G. V., Strukova I. Yu., Shapovalova N. N. Properties of film-forming agents based on synthetic rubber production waste. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Paints and varnishes and their application], 1988, no. 4, pp. 26–28 (In Russian).
10. Shamaev V. A., Nikulina N. S., Medvedev I. N. *Modifitsirovaniye drevesiny* [Wood modification]. Voronezh, VGLTA Publ., 2012. 511 p. (In Russian).
11. Melnikova L. V. *Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov iz drevesiny* [Technology of composite materials from wood]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2007. 235 p. (In Russian).
12. Filimonova O. N. *Pererabotka i primeneniye kubovykh ostatkov rektifikatsii stirola* [Processing and application of still residues from styrene rectification]. Moscow, Akademiya Yestestvoznaniya Publ., 2009. 76 p. (In Russian).
13. Petykhin Yu. M., Kontsova L. V. *Otkhody neftekhimicheskikh proizvodstv – syr'ye dlya sinteticheskikh produktov* [Waste from petrochemical production – raw material for synthetic products]. Moscow, TsNIITeneftkhim Publ., 1991. 72 p. (In Russian).
14. Filimonova O. N., Nikulin S. S. Study of the process of processing acetophenone still residue from styrene rectification. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2002, vol. 75, issue 8, pp. 1315–1319 (In Russian).
15. Zhagfarov F. G., Grigorieva N. A., Krayushkin F. A. Modern trends in the development of the market and technology for the production of polystyrene. *NefteGazoKhimiya* [Oil and Gas Chemistry], 2023, no. 1, pp. 27–32 (In Russian).

Информация об авторах

Никulina Надежда Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технических комплексов охраны и связи. Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний (ул. Иркутская, 1а, 394072, г. Воронеж, Российская Федерация). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Никulin 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 Sergeyevna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Technical Complexes for Security and Communications. Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service (1a Irkutskaya str., 394072, 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 11.04.2025