

Применение стиролсодержащего олигомерного продукта нефтехимии для модификации древесины

Н.С. Никулина^{1а}, А.И. Дмитренко^{2b}, С.С. Никулин^{3с}, Е.В. Томина^{2d}, К.В. Жужукин^{2е}

¹ ФГБУ ДПО «Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России», Воронеж, Россия

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

³ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия

^а nad.nikulina2013@yandex.ru, ^б dmitrenkov2109@mail.ru, ^с niku-lin.nikuli@yandex.ru, ^д tomina-e-v@yandex.ru,

^е kinkon18@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-2586-7738>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-9296-1762>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-7093-3274>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-5222-0756>,

^е <https://orcid.org/0000-0002-7093-3274>.

Статья поступила 23.06.2025, принята 18.09.2025

Многочисленные отходы и побочные продукты нефтехимического и других производств могут быть применены для получения олигомерных продуктов. Для увеличения выхода таких продуктов в реакцию смесь вводят стирол. Целью данной работы является разработка и исследование новых составов для модифицирования натуральной древесины на основе олигомеров, полученных из отходов нефтехимии, содержащих стирол, с целью снижения водопоглощения и разбухания древесины. Для защитной обработки древесины и древесных композитов были использованы олигомерные материалы, приготовленные из побочных продуктов производства полибутадиена и стирола. Получение олигомеров осуществляли в присутствии алюмосиликатного катализатора при температуре 160–165 °С в течение 24 часов. В приготовленный олигомерный продукт вводили 5,0 % мас. сиккатива НФ-1 на олигомеры. Исследованы молекулярно-массовые характеристики олигомерного модификатора, приготовленного на алюмосиликатном катализаторе с разным содержанием стирола в олигомере. Олигомеры на основе приготовленного пропитывающего состава обладают невысокой молекулярной массой и размерами и проникают в анатомические структуры натуральной древесины. Показано, что увеличение содержания стирола в олигомерном продукте способствует снижению водопоглощения и разбухания модифицированной древесины. Установлено, что введение в структуру натуральной древесины гибридного защитного состава, включающего в себя олигомер из побочных продуктов производства полибутадиена в сочетании с лаком КОРС, обеспечивает эффективную защиту получаемых древесных композитов от действия воды и влаги.

Ключевые слова: олигомеры, побочные продукты производства полибутадиена и стирола, древесина, модификация, водопоглощение.

Application of styrene-containing oligomeric petrochemical product for wood modification

N.S. Nikulina^{1а}, A.I. Dmitrenkov^{2b}, S.S. Nikulin^{3с}, E.V. Tomina^{2d}, K.V. Zhuzhukin^{2е}

¹ Voronezh Institute for Advanced Training of Employees of EMERCOM of Russia; 231, Krasnoznamennaya St., Voronezh, Russia

² Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

³ Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolutsii Pros., Voronezh, Russia

^а nad.nikulina2013@yandex.ru, ^б dmitrenkov2109@mail.ru, ^с niku-lin.nikuli@yandex.ru, ^д tomina-e-v@yandex.ru,

^е kinkon18@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-2586-7738>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-9296-1762>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-7093-3274>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-5222-0756>,

^е <https://orcid.org/0000-0002-7093-3274>.

Received 23.06.2025, accepted 18.09.2025

Numerous wastes and by-products of petrochemical and other industries can be used to obtain oligomeric products. To increase the yield of such products, styrene is introduced into the reaction mixture. The objective of this work is to develop and study new compositions for modifying natural wood based on oligomers obtained from petrochemical waste containing styrene in order to reduce water absorption and swelling of wood. For the protective treatment of wood and wood composites, oligomeric materials prepared from by-products of polybutadiene and styrene production are used. The oligomers are obtained in the presence of an aluminosilicate catalyst at a temperature of 160–165 °C for 24 hours. 5.0% by weight of NF-1 siccativ per oligomers is introduced into the prepared oligomeric product. The molecular weight characteristics of the oligomeric modifier prepared on an aluminosilicate catalyst with different styrene content in the oligomer are studied. Oligomers based on the prepared impregnating composition have a low molecular weight and size

and penetrate into the anatomical structures of natural wood. It is shown that an increase in the styrene content in the oligomeric product helps reduce water absorption and swelling of the modified wood. It is found that the introduction of a hybrid protective composition into the structure of natural wood, including an oligomer from by-products of polybutadiene production in combination with KORS varnish, provides effective protection of the resulting wood composites from the action of water and moisture.

Keywords: oligomers, by-products of polybutadiene and styrene production, wood, modification, water absorption.

Введение. Реконструкция действующих и создание новых безотходных технологий доминируют во всем мире. Однако, несмотря на внедрение новых передовых технологий на действующих промышленных предприятиях, возникают и накапливаются как старые, так и новые отходы и побочные продукты. В большинстве случаев данные отходы и побочные продукты не находят своего применения и сбрасываются на очистные сооружения или выводятся в отвал. С практической точки зрения переработка отходов и побочных продуктов позволяет получить новые продукты и снизить потребление первичных материалов, сохраняя ценное природное сырьё. Однако и до настоящего времени фундаментальных решений по данному вопросу достигнуто не было [1–3].

Анализируя компонентный состав ряда отходов химической, нефтехимической и др. 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 [4–6].

Получение полибутадиена на металлокомплексных катализаторах сопровождается протеканием второстепенных реакций, приводящих к возникновению в системе побочных продуктов: димеры, тримеры бутадиена и другие производные [6]. Данные отходы образуются и на других предприятиях с использованием бутадиена, а также в процессе эмульсионной сополимеризации бутадиена со стиролом.

Димеры и тримеры бутадиена (4-винилциклогексен), циклододекатриен-1,5,9, н-додекатетраен-2,4,6,10, содержат непердельные связи и могут служить ценным исходным сырьем как для органического синтеза, так и для получения олигомерных материалов. В работе [7] показано, что полимеризация побочных продуктов производства полибутадиена (ППППБ) в присутствии радикальных инициаторов протекает с невысоким выходом олигомеров. Для увеличения выхода олигомеров в реакционную смесь вводится стирол, широко используемый в производстве полимеров [8]. Введение стирола позволяет увеличить не только общий выход по целевым продуктам, но и повысить ряд показателей изго-

товленных олигомеров. На основе данного олигомера в 80–90-х годах 20 века был освоен выпуск лакокрасочных материалов, применялся в композиционных составах различного назначения, при изготовлении мастик, герметиков и других товаров [9].

Однако наличие опалесценции, высокая цветность и др. недостатки сдерживали широкое применение полученных олигомеров. В тоже время, данные олигомеры могут с успехом использоваться в деревообрабатывающей промышленности для модификации древесины и защитной обработки изделий на её основе [10–14]. Использование в этом направлении олигомерных составов приготовленных из отходов и побочных продуктов химической и нефтехимической промышленности позволит [15–16] более полно и рационально использовать ценное углеводородное сырьё и решить ряд экологических проблем.

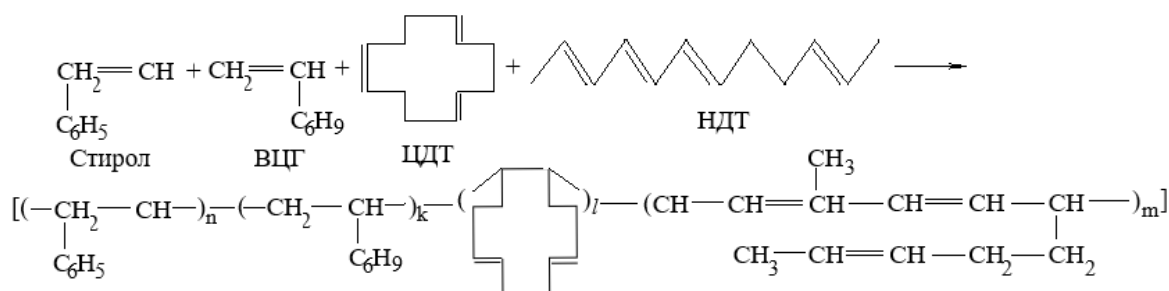
Цель данной работы является разработка и исследование новых составов для модифицирования натуральной древесины на основе олигомеров, полученных из отходов нефтехимии, содержащих стирол, с целью снижения водопоглощения и разбухания древесины.

Методика эксперимента

Для изготовления олигомерного материала, необходимого для модификации древесины, использовали побочные продукты производства полибутадиена (ППППБ) включающие в свой состав следующие углеводороды, % 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.

Получение олигомеров на основе ПППБ осуществляли в присутствии алюмосиликатного катализатора (АСК). АСК готовили на основе глин латинского месторождения Воронежской области.

Состав исходной мономерной шихты изменялся в следующих пределах, % мас. – непердельные ПППБ: стирол от 80 : 20 до 20 : 80. Температурный режим олигомеризационного процесса выдерживали 160–165 °С при продолжительности 24 часа. Выход олигомерных продуктов достигал 98 %. Строение синтезированного олигомера имеет следующий вид:



Изготовленный продукт обладал коротко цепными макромолекулами, что должно было обеспечить ему легкое проникновение в проводящие элементы древесины лиственных пород. Такие пропитывающие составы по своим характеристикам соответствуют лакам и маслам, используемым в деревообрабатывающей промышленности. Показатели олигомеров на основе ППППБ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели олигомерных материалов из ППППБ

Показатели	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

При малом присутствии стирола в олигомере (до 40 %) синтезированный продукт имел маслообразную консистенцию темно-коричневого цвета. 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 °С.

Молекулярно-массовые показатели синтезированных олигомеров при малом содержании стирола (до 40 %), не превышали 900 ед. При возрастании содержания стирола до 80 % молекулярная масса олигомера повышалась до 1200–1700 ед.

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

Винилароматические мономеры – дороги и дефицитны. Поэтому поисковые исследования по замене «чистого» стирола, на содержащий стирол продукт имеет важное прикладное и экономическое значение. Перспективным в этом плане может служить отход

стирольного производства – кубовый остаток. В кубовых остатках ректификационных колонн стирольного производства (КОРС) от его производства дегидрированием этилбензола в зависимости от условий фракционирования печного масла содержание стирола колеблется от 10 до 50 %, а полистирола – от 15 до 70 %. Таким образом, КОРС может служить основой для проведения частичной замены стирола в мономерной шихте. При олигомеризации неперелетных углеводородов в ППППБ дозировку первичного стирола выдерживали 50 %, а КОРС выдерживали 10, 20, 30 %. Проводилась частичная замена стирола на КОРС. КОРС, используемый в качестве добавки в ППППБ, содержал стирол в количестве 45,0 %. При этом общее содержание стирольного компонента в получаемом олигомерном композите составляло 50, 60, 70 и 80 %. Экспериментальные результаты протекания олигомеризационного процесса при частичной замене стирола на КОРС приведены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние дозировки КОРС в исходной смеси мономеров и продолжительности синтеза на выход олигомеров

Ввод КОРС в расчете на стирол в ППППБ, %	Общее содержание стирола в олигомере, %	Выход олигомеров, % при продолжительности процесса, ч			
		6	12	18	24
0	50	53,4	71,2	80,2	90,5
10	60	62,6	79,3	89,2	96,8
20	70	70,4	82,8	92,1	97,1
30	80	74,0	84,8	93,7	98,0

Примечание: катализатор АСК-3, температура 160–165 °С, продолжительность 24 ч.

Анализируя экспериментальные данные (табл. 4) можно сделать вывод, что введение КОРС в содержащий стирол состав ППППБ позволяет получить олигомерный пропитывающий состав с высоким выходом. Частичная замена первичного стирола на КОРС допустима. Приготовленный содержащий стирол олигомерный состав может быть использован для модификации натуральной древесины. Это подтверждается молекулярно-массовыми характеристиками синтезированных олигомеров.

Молекулярно-массовые показатели олигомеров, используемых для модификации природной древесины, имеют важное прикладное значение. Это базируется на том, что молекулярные массы олигомеров входящих в пропитывающий состав связаны с размером их макромолекул. Это, в свою очередь, будет определять глубину проникновения модификатора в проводящие элементы древесины. Чем меньше размеры олигомерного

модификатора, тем ниже вязкость пропитывающего состава и, следовательно, можно работать с более концентрированными растворами, снижая тем самым расход углеводородного растворителя.

Молекулярно-массовые характеристики олигомерного модификатора, приготовленного на алюмосиликатном катализаторе с разным содержанием стирола в олигомере, имеют следующие значения:

– содержание стирола 40 %

Mn = 800; Mw = 2370; Mz = 9080; Mw/Mn = 3,75; Mz/Mw = 3,82

– содержание стирола 80 %

Mn = 1200; Mw = 6830; Mz = 84 170; Mw/Mn = 5,70; Mz/Mw = 12,30

Молекулярно-массовые характеристики изготовленного на алюмосиликатном катализаторе олигомерного продукта с содержанием стирола в мономерной смеси 50 % и 20 % КОРС:

$M_n = 2180$; $M_w = 22370$; $M_z = 78\,690$; $M_w/M_n = 10,26$; $M_z/M_w = 3,54$

Представленные выше результаты показывают, что возрастание количества стирольного мономера в олигомеризуемой смеси приводит к поднятию молекулярной массы синтезируемого модификатора и расширению его полидисперсности. Полидисперсность характеризует интервал изменения молекулярных масс и относительное содержание молекул с промежуточными молекулярными массами. Она оказывает влияние на физико-механические показатели полимеров.

Высокая полидисперсность олигомерного модификатора связана с обрывом полимерной цепи на разных стадиях её роста. Алюмосиликатные катализаторы сорбируют на себе ингибиторы полимеризационных процессов, присутствующие в побочных продуктах производства полибутадиена. Благодаря этому выход по олигомерам достигает практически 100 %.

На основе полученных экспериментальных данных проведен усредненный расчет линейных размеров олигомерных молекул. Если учесть, что олигомерный модификатор преимущественно состоит из звеньев стирола, то их размер будет составлять примерно от 2 до 10 нм. Размер стирольного сегмента, состоящего из 8 звеньев стирола (молекулярная масса его 840), составляет около 2 нм. Это позволяет считать, что используемый олигомерный модификатор состоит из 1–5 сегментов.

Сегмент – это один из важных показателей в химии высокомолекулярных соединений. Если сравнить два полимера с одинаковой молекулярной массой, но с разной длиной сегментов, то наибольшей гибкостью будут обладать макромолекулы полимера с меньшей длиной сегмента.

Проводящими элементами древесины лиственных пород являются сосуды, имеющие форму трубок разной величины. Используемая в настоящих исследованиях береза относится к рассеянно-сосудистым лиственным породам с мелкими сосудами. Диаметр крупных сосудов 0,2–0,4 мм, мелких – 0,016–0,1 мм. Длина сосудов обычно не превышает 10 см. Объем сосудов у разных пород колеблется в широких пределах, а для каждой породы зависит от условий произрастания [17–18].

Таким образом, сравнивая диаметры проводящих элементов натуральной древесины с размерами молекул олигомера можно прийти к выводу, что все они должны проникать по сосудам (проводящим элементам натуральной древесины лиственных пород) в структуру натуральной древесины. Это подтверждается и фракционным составом олигомерного модификатора, приведенном в табл. 3, который показывает, что подавляющая масса олигомерных макромолекул имеет молекулярную массу не превышающую 5000.

Таблица 3. Молекулярно-массовые характеристики олигомерного модификатора

M_w	Более 7000	5000–7000	3000–5000	2000–3000	1000–2000	500–1000	Менее 500
Содержание фракций, %	0,06	0,36	4,29	7,01	33,33	48,74	6,21

$M_n = 890$; $M_w = 1200$; $M_v = 1140$; $M_z = 1720$; $M_w/M_n = 1,34$; $M_z/M_w = 1,43$
(Содержание стирола в исходной мономерной смеси 60 %)

Модификацию натуральной древесины проводили следующим образом.

Подготовленные образцы древесины березы с содержанием влаги 9–12 % загружали в герметично закрытую пропиточную ванну с толуольным раствором олигомера с концентрацией 30–50 %. Обработку образцов проводили при температуре 95–100 °С в течение 10 часов. Пропитанные образцы извлекали из ванны и осуществляли дегазации (удаление растворителя и других низкокипящих продуктов). После чего образцы модифицированной древесины подвергали термообработке при 160–165 °С в течение 5 часов. Содержание олигомера в образцах составляло 14,8–17,3 %.

Результаты и их обсуждение

Полученные экспериментальные результаты представлены в табл. 4.

Анализ результатов, представленных в табл. 4, говорят о том, что на стойкость древесно-полимерного композита (ДПК) к действию воды и влаги большое влияние оказывает содержание стирола в исходном олигомере. Чем выше содержание стирола, тем меньше водопоглощение и разбухание образцов ДПК в воде. Установленная зависимость является важной с практической точки зрения.

Таблица 4. Показатели древесины, включающей в свой состав олигомер с различным содержанием стирола

Характеристика олигомера	Показатель		
Содержание стирола в олигомере на основе ПППБ, %	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: первая строка – продолжительность испытания 1 сутки;
вторая строка – продолжительность испытания 30 суток.

Оценка показателей результатов, представленных в табл. 5, показала, что замена стирола на отход стирольного производства не только не ухудшает показатели модифицированных образцов ДПК, но даже оказывает и положительное влияние. Водопоглощение и азбухание образцов с КОРС было ниже, чем у образцов, приготовленных с таким же содержанием первичного стирола. Данная особенность может быть связана

с меньшим количеством кратных связей, присутствующих в пропитывающем олигомере с добавкой КОРС. Известно, что, чем больше кратных связей, тем выше гидрофильность системы. В используемом для получения олигомере на основе ППППБ лаке КОРС кроме стирола содержится и полистирол. Это приводит к снижению общего количества кратных связей в пропитывающем материале.

Таблица 5. Показатели древесины березы модифицированной олигомером на основе ППППБ и КОРС

Характеристика олигомера		Показатель		
Содержание стирола в ППППБ, %	Присутствие КОРС в ППППБ, %	Водопоглощение, %	Разбухание в радиальном направлении, %	Разбухание в тангенциальном направлении, %
50	0	22,8	4,0	6,1
		67,7	5,6	7,8
50	10	18,3	3,6	5,5
		50,7	5,0	6,7
50	20	15,8	3,1	5,2
		45,4	4,5	6,4
50	30	12,2	2,9	4,6
		41,1	4,3	5,9

Примечание: первая строка – продолжительность испытания 1 сутки;
 вторая строка – продолжительность испытания 30 суток;
 содержание стирольного компонента выдерживали 50, 60, 70 и 80 %

С другой стороны интересным и перспективным для получения пропитывающего материала может служить низкомолекулярный полимер на основе КОРС, получаемый его сополимеризацией с малеиновым ангидридом. В промышленных масштабах был освоен выпуск материала на основе КОРС под торговым названием «лак КОРС» (ТУ 38.103279), использовавшийся в лакокрасочной промышленности.

Для этого готовился пропитывающий состав путем смешения олигомера, содержащего стирол из ППППБ, с лаком КОРС. Получали гибридный пропитывающий состав. Для этих целей смешивали толуольный раствор олигомера с содержанием стирола 50 % с 10, 20 и 30 % лака КОРС. Концентрацию пропитывающего гибридного состава выдерживали 40–59 %. Пропитку образцов древесины березы проводили по приведенной выше методике. Результаты испытаний представлены в табл. 6.

Таблица 6. Показатели древесины березы, модифицированной олигомерами на основе ППППБ, содержащими лак КОРС

Характеристика олигомера		Показатель		
Содержание стирола в исходном олигомере, %	Содержание «лака КОРС» в олигомере, %	Водопоглощение, %	Разбухание в радиальном направлении, %	Разбухание в тангенциальном направлении, %
50	0	22,8	4,0	6,1
		67,7	5,6	7,8
50	10	13,9	2,8	4,5
		46,3	4,4	6,0
50	20	10,4	2,5	4,2
		39,8	3,9	5,4
50	30	9,6	2,4	4,0
		35,7	3,5	5,1

Примечание: первая строка – продолжительность испытания 1 сутки;
 вторая строка - продолжительность испытания 30 суток;
 содержание стирольного компонента выдерживали 50, 60, 70 и 80 %

Анализируя экспериментальные результаты, можно сделать вывод о том, что присутствие малеиновых групп в олигомере приготовленным из кубовых остатков от производства стирола дегидрированием этилбензола в пропитывающем составе повышают его защитные свойства. При этом, ДПК на основе данного гибридного пропитывающего состава обладают более высокими защитными свойствами, чем пропитывающий состав на основе ППППБ со стиролом (табл. 6). Это связано с присутствием малеинового ангидрида

в лаке КОРС, входящего в состав гибридного композита. После высокотемпературной термообработки ДПК ангидридные группы обладают повышенной реакционной способностью и взаимодействуют с гидроксилами клетчатки с образованием сложноэфирных химических связей. Прививка олигомерных молекул к компонентам древесины создает прочный древесно-полимерный каркас, способный эффективно противостоять действию различных агрессивных сред, в том числе и воды, и влаги.

Заключение

Для защитной обработки древесины и ДПК могут быть использованы олигомерные материалы, приготовленные из ПППБ и стирола.

Олигомеры на основе приготовленного пропитывающего состава обладают невысокой молекулярной массой и размерами и проникают в анатомические структуры натуральной древесины. Показано, что увеличение содержания стирола в олигомерном продукте способствует снижению водопоглощения и разбухания модифицированной древесины.

Установлено, что введение в структуру натуральной древесины гибридного защитного состава, включаю-

щего в себя олигомер из ПППБ в сочетании с лаком КОРС, обеспечивает эффективную защиту получаемому композиту от действия воды и влаги.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Подбор хозяйственно ценных и климатоустойчивых древесных культур, характеризующихся высокой биологической продуктивностью и углерододопонирующим потенциалом, с учетом региональных почвенно-климатических особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

Литература

- Бархатов В.И., Добровольский И.П., Капкаев Ю.Ш. Отходы производств и потребления — резерв строительных материалов. — Челябинск : Изд-во ЧГУ, 2017. — 477 с.
- Садчиков А.В., Митрофанов С.В., Соколов В.Ю., Бухмиров В.В., Кокарев Н.Ф. Повышение энергетической эффективности крупных объектов концентрации отходов. — Оренбург : Изд-во ОГУ, 2019. — 188 с.
- Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Тарасов С.М., Жилин Ю.Н. Переработка органических отходов. — М. : МГУЛ, 2016. — 400 с.
- Филимонова О.Н. Переработка и применение кубовых остатков ректификации стирола. — М. : Академия естествознания, 2009. — 76 с.
- Отходы и побочные продукты нефтехимических производств — сырье для органического синтеза / С.С. Никулин, В.С. Шеин, С.С. Злотский [и др.]. — М. : Химия, 1989. — 240 с.
- Химия и технология синтетического каучука / Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович, И.М. Давлетбаева, П.А. Кирпичников. — М. : Химия, КолосС. — 2008. — 357 с.
- Радикальная полимеризация олигомеров бутадиена / С.С. Никулин, В.С. Шеин, В.М. Мисин, М.И. Черкашин. — Промышленность СК, шин и РТИ, 1985. — № 6. — С. 11–12.
- Жагфаров Ф.Г., Григорьева Н.А., Крайушкин Ф.А. Современные тенденции развития рынка и технологии производства полистирола // НефтеГазХимия. — 2023. — № 1. — С. 27–32.
- Свойства пленкообразователей на основе отходов производства синтетического каучука. Лакокрасочные материалы и их применение / С.С. Никулин, Ю.А. Сергеев, Г.В. Тертышник [и др.]. — 1988. — № 4. — С. 26–28.
- Шамаев, В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины. — Воронеж: ВГЛТА, 2022. — 571 с.
- Köse C. et al. Production of Lightweight Three-Layered Particleboards Using Waste Tire Rubbers // Drvna industrija. 2023. — T. 74. — № 3. — P. 277–286.
- Tanasă F. et al. Physical methods for the modification of the natural fibers surfaces // Surface Treatment Methods of Natural Fibres and their Effects on Biocomposites // Woodhead Publishing. 2022. — P. 125–146.
- Pizzi A., Papadopoulos A. N., Policardi F. Wood composites and their polymer binders // Polymers. — 2020. — T. 12. — № 5. — P. 1115.
- Bekhta P. et al. Properties of eco-friendly particleboards bonded with lignosulfonate-urea-formaldehyde adhesives and PMDI as a crosslinker // Materials. — 2021. — T. 14. № 17. — P. 4875.
- Модификация древесно-волоконистых плит смесью олигомеров из побочных продуктов производства полибутадиена и стирола / Н.С. Никулина, А.И. Дмитренко, С.С.Никулин, Е.В. Томина // Системы. Методы. Технологии. — 2024. — № 2 (62). — С. 164–169.
- Разработка модифицирующих составов древесины на основе побочных продуктов производства полибутадиена и метилметакрилата / Никулина Н.С., Дмитренко А.И., Томина Е.В. [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — 2023. — Вып. 245. — С. 318–330. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.318-330.
- Кислицына С.Н. Изучение свойств древесины. — Пенза : Изд-во ПГУАС. — 2014. — 132 с.
- Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Кочуба И.В. Эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе древесины. — Екатеринбург : Изд-во УГЛТУ, 2018. — 100 с.

References

- Barkhatov V.I., Dobrovolsky I.P., Kapkaev Yu.Sh. Production and consumption waste — a reserve of construction materials. — Chelyabinsk : ChSU, 2017. — 477 p.
- Improving the energy efficiency of large waste concentration facilities / A.V. Sadchikov, S.V. Mitrofanov, V.Yu. Sokolov [et al.]. — Orenburg : OSU. — 2019. — 188 p.
- Processing of organic waste / A.N. Ivankin, A.D. Neklyudov, S.M. Tarasov, Yu.N. Zhilin. — M. : MGUL. — 2016. — 400 p.
- Filimonova O.N. Processing and application of still residues of styrene rectification. — M. : Academy of Natural Sciences. 2009. — 76 p.
- Wastes and by-products of petrochemical production - raw materials for organic synthesis / S.S. Nikulin, V.S. Shein, S.S. Zlotsky, M.I. [et al.]. — M. : Chemistry, 1989. — 240 p.
- Chemistry and technology of synthetic rubber / L.A. Averk-Antonovich, Yu.O. Averk-Antonovich, I.M. Davletbaeva, P.A. Kirpichnikov. — M. : Chemistry, KolosS. — 2008. — 357 p.
- Radical polymerization of butadiene oligomers / S.S. Nikulin, V.S. Shein, V.M. Misin, M.I. Cherkashin. — Industry of rubber, tires and rubber products, 1985. — № 6. — P. 11–12.
- Zhagfarov F.G., Grigorieva N.A., Krayushkin F.A. Modern trends in the development of the market and technology of polystyrene production // Oil and Gas Chemistry. — 2023. — P. 27–32.
- Properties of film-forming agents based on synthetic rubber production waste // S.S. Nikulin, Yu.A. Sergeev, G.V. Ter-tyshnik [et al.] // Paints and varnishes and their application. — 1988. — № 4. — P. 26–28.
- Shamaev V.A., Nikulina N.S., Medvedev I.N. Wood modification : Voronezh : VGLTA, 2022. — 571 p.
- Köse C. et al. Production of Lightweight Three-Layered Particleboards Using Waste Tire Rubbers // Drvna industrija. — 2023. — T. 74. — № 3. — P. 277–286.

12. Tanasă F. et al. Physical methods for the modification of the natural fibers surfaces // *Surface Treatment Methods of Natural Fibers and their Effects on Biocomposites* // Woodhead Publishing. – 2022. – P. 125–146.
13. Pizzi A., Papadopoulos A. N., Policardi F. Wood composites and their polymer binders // *Polymers*. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 1115.
14. Bekhta P. et al. Properties of eco-friendly particleboards bonded with lignosulfonate-urea-formaldehyde adhesives and PMDI as a crosslinker // *Materials*. – 2021. – Vol. 14. – № 17. – P. 4875.
15. Modification of wood-fiber boards with a mixture of oligomers from by-products of polybutadiene and styrene production / N.S. Nikulina, A.I. Dmitrenkov, S.S. Nikulin, E.V. Tomina // *Systems. Methods. Technologies*. – 2024. – № 2 (62). – P. 164–169.
16. Development of wood modifying compositions based on by-products of polybutadiene and methyl methacrylate production / N.S. Nikulina, A.I. Dmitrenkov, E.V. Tomina [et al] // *Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy*. – 2023. – Issue 245. – Pp. 318–330. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.318-330.
17. Kislitsyna S.N. Study of wood properties. – Penza : PSUAS, 2014. – 132 p.
18. Vetoshkin, Yu.I., Yatsun I.V., Kotsyuba I.V. Operational properties of wood-based composite materials. – Ekaterinburg : USLTU, 2018. – 100 p.