УДК 543.544 DOI: 10.18324/2077-5415-2026-3-203-209

Древесно-полимерный композит с использованием олигомера на основе отходов нефтехимии и стирольного производства

Н.С. Никулина[1a], С.С. Никулин[2b]

[1] ФКОУ ВО «Воронежский институт федеральной службы исполнения наказаний», ул. Иркутская ул., 1А, корп. 1, Воронеж, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий, ул. просп. Революции, 19, Воронеж, Россия
[a] nad.nikulina2013@yandex.ru, [b] nikulin.nikuli@yandex.ru.
[a] https://orcid.org0000-0003-2586-7738, [b] https://orcid.org0000-0002-3416-8894.
Статья поступила 11.06.2026, принята 10.09.2026.

В настоящей статье представлена разработка древесно-полимерного композита с использованием олигомерных материалов, полученных из отходов нефтехимии и стирольного производства. Актуальность исследования обусловлена глобальной необходимостью утилизации побочных продуктов промышленности и повышения эксплуатационных свойств натуральной древесины [1]. Целью работы явилось детальное изучение процесса модификации древесины берёзы олигомером на основе кубовых остатков совместного производства стирола и оксида пропилена, а также отходов производства полибутадиена. В качестве модификаторов исследовались продукты «Лак КОРС» и «Лак СТАМ», содержащие активные функциональные группы, такие как ангидридные и карбоксильные. Методы исследования включали гельпроникающую хроматографию для определения молекулярно-массовых характеристик, инфракрасную спектроскопию для анализа химического строения, а также стандартные тесты на водопоглощение и разбухание образцов по ГОСТ. Установлено, что синтезированные олигомеры обладают невысокой молекулярной массой, что обеспечивает их лёгкое проникновение в проводящие анатомические структуры древесины. Наличие реакционноспособных групп способствует образованию прочных ковалентных сложноэфирных связей с гидроксильными группами целлюлозы и гемицеллюлозы при термообработке [2, 3]. Экспериментально доказано, что гибридный состав на основе олигомера ПППП Б и 30 % «Лака СТАМ» является оптимальным вариантом пропитки. Модифицированная древесина характеризуется значительным снижением водопоглощения на 46 % и разбухания в тангенциальном направлении на 33 % по сравнению с немодифицированным древесным материалом даже после 30 суток экспозиции в воде. Полученные результаты подтверждают высокую перспективность применения данных отходов для создания экономически выгодных композитов с повышенной водо- и влагостойкостью [4]. Внедрение технологии решает задачи рационального использования ценного углеводородного сырья, снижает загрязнение окружающей среды и позволяет получить материал, превосходящий традиционные методы модификации по защитным свойствам [5]. Экономическая эффективность метода обусловлена низкой стоимостью «Лака СТАМ», составляющей около 15 % от цены первичного стирола, что делает технологию конкурентоспособной.

Ключевые слова: побочные продукты нефтехимии; олигомеры; древесина; модификация; свойства.

Wood-polymer composite using an oligomer based on petrochemical and styrene production waste

N.S. Nikulina[1a], S.S. Nikulin[2b]

[1] Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service; 1A, Bld. 1, Irkutskaya St., Voronezh, Russia
[2] Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolyutsii Ave., Voronezh, Russia
[a] nad.nikulina2013@yandex.ru, [b] nikulin.nikuli@yandex.ru.
[a] https://orcid.org0000-0003-2586-7738, [b] https://orcid.org0000-0002-3416-8894.
Received 11.06.2026, accepted 10.09.2026.

The article presents the development of a wood-polymer composite using oligomeric materials obtained from petrochemical and styrene production waste. The relevance of this study stems from the global need to utilize industrial byproducts and improve the performance properties of natural wood. The aim of the study is to thoroughly investigate the process of modifying birch wood with an oligomer based on distillation residues from the combined production of styrene and propylene oxide, as well as polybutadiene production waste. The products "KORS Lacquer" and "STAM Lacquer", which contain active functional groups such as anhydride and carboxyl groups, are studied as modifiers. The research methods include gel permeation chromatography to determine molecular weight characteristics, infrared spectroscopy to analyze the chemical structure, and standard water absorption and swelling tests for samples according to GOST. It is established that the synthesized oligomers have a low molecular weight, which ensures their easy penetration into the conductive anatomical structures of wood. The presence of reactive groups promotes the formation of strong covalent ester bonds with the hydroxyl groups of cellulose and hemicellulose during heat treatment. Experiments have proven that a hybrid composition based on the PPPPB oligomer and 30 % "STAM Lacquer", is the optimal impregnation option. The modified wood is characterized by a significant reduction in water absorption by 46 % and tangential swelling by 33 % compared to unmodified wood material, even after 30 days

of exposure to water. The obtained results confirm the high potential of using this waste to create cost-effective composites with increased water and moisture resistance. Implementation of this technology solves the problems of rational use of valuable hydrocarbon raw materials, reduces environmental pollution, and produces a material with superior protective properties compared to traditional modification methods. The economic efficiency of the method is due to the low cost of "STAM Lacquer", which is approximately 15 % of the price of primary styrene, making the technology competitive.

Keywords: petrochemical by-products; oligomers; wood; modification; properties.

Введение. Древесина и изделия на её основе широко применяются в самых разнообразных промышленных отраслях [6, 7]. В настоящее время повышенное внимание отводится получению модифицированной древесины и древесно-полимерных композитов [8, 9]. Материалы, включающие в свой состав древесные компоненты, [10] обладают комплексом уникальных свойств и находят широкое применение в самых различных отраслях народного хозяйства. Поэтому поиску компонентов, позволяющих придать полученным материалам свойства, необходимые при изготовлении конкретных изделий, отводится повышенное внимание. Для этих целей в настоящее время начинают активно использоваться побочные продукты химической, нефтехимической промышленности [1], а также отслужившие свой срок полимерные изделия. Это позволяет с одной стороны более рационально, экономично использовать ценное углеводородное сырьё, повысить срок службы древесных материалов, а с другой стороны, решить проблемы экологического характера.

Одним из перспективных направлений использования продуктов, изготовленных из вторичного сырья, является поиск их наиболее рационального направления по их использованию. Как правило, продукция, изготовленная только с использованием вторичных материалов, не отвечает предъявляемым требованиям к изделиям по прочности, долговечности в эксплуатации, устойчивости к действию агрессивных сред и др. Поэтому поиск наиболее оптимальных направлений в их использовании – важная и актуальная задача.

Перспективными направлениями по использованию материалов, приготовленных из отходов химических, нефтехимических производств, является их использование для защитной обработки и модификации древесины и изделий на её основе, а также при изготовлении древесно-полимерных композитов [4]. Это связано с тем, что материалы, получаемые из отходов, имеют тёмный цвет (как правило, до тёмно-коричневого) за счёт образующихся при их переработке смолянистых компонентов. Это ограничивает возможности их использования в лакокрасочной промышленности при изготовлении светлых красок. Тёмный цвет пропитывающего состава не является сдерживающим фактором при использовании в деревообрабатывающей промышленности. В то же время присутствие смоляных компонентов в пропитывающих составах для модификации и защитной обработки древесины будет способствовать более лёгкому их проникновению в проводящие элементы древесины – трахеиды и сосуды [11–13].

Перспективными модифицирующими материалами могут служить масла и олигомеры, приготовленные на основе отходов и побочных продуктов химических и нефтехимических производств.

Целью данной работы является исследование процесса модификации натуральной древесины олигомером, приготовленным из отходов нефтехимии и стирольного производства.

Объекты и методы исследования. Производство синтетических каучуков сопряжено с образованием и накоплением отходов и побочных продуктов различного вида (твёрдые, жидкие, газообразные). На основе жидких отходов, производства полибутадиена (ПППБ), включающего в свой состав, % мас.: 4-винилциклогексен (ВЦГ) – 40,4; толуол – 41,6; тяжёлый остаток (тримеры бутадиена: 1,5,9-циклододекатриен (ЦДТ), н-додекатетраен-2,4,6,10 (НДТ) и другие продукты) – 18,0 и стирола был освоен выпуск олигомера, который использовался в производстве лакокрасочных материалов [14].

В качестве стирольной добавки использовали стирол и кубовый остаток стирольного производства (КОРС).

При этом необходимо отметить, что стирол, производимый в мировой промышленности, получают разными способами [15]. Среди различных способов синтеза стирола ранее активно изучались следующие: прямое взаимодействие бензола с этиленом, каталитическое удаление водорода из альфаметилбензилового спирта, одновременное получение стирола с альфаметилстиролом, а также технология компании «Halcon», позволяющая вырабатывать стирол вместе с оксидом пропилена. К этому перечню можно добавить окислительное отщепление водорода от этилбензола и некоторые другие методы. Важно, что при реализации всех перечисленных процессов образуются вторичные продукты, которые до сих пор не нашли полноценного практического использования.

В России промышленный синтез стирола главным образом опирается на два подхода: дегидрирование этилбензола и совместное производство стирола с оксидом пропилена, где промежуточной стадией служит обезвоживание метилфенилкарбинола.

Согласно данным исследования [16], кубовые остатки растворителя стирола (КОРС), выделяемые в процессе дегидрирования этилбензола при синтезе стирола, можно эффективно применять в составе пропитывающей смеси с использованием ПППБ для модификации натуральной древесины. Была отмечена перспективность частичной замены первичного стирола на КОРС, а также возможность совместного применения олигомерной смеси, составленной на основе ПППБ и «Лака КОРС». Однако, использование «Лака КОРС», как самостоятельного продукта для модификации натуральной древесины в данной работе рассмотрено не было.

В литературных источниках практически не рассматривается вопрос утилизации вторичного продукта,

образующегося при комбинированном получении стирола и пропиленоксида.

Технология этой комплексной реакции включает в себя несколько этапов, которые могут протекать как друг за другом, так и одновременно с побочными взаимодействиями. Детальное описание механизма данного синтеза представлено в работах [15, 17, 18]. Для утилизации кубового остатка были опробованы два подхода: термическое воздействие (нагрев) и химическая переработка с применением каталитических добавок. В качестве дополнительного сомономера предлагается использовать малеиновый ангидрид. Однако он является дорогим и дефицитным продуктом и широко используется в ряде химических и нефтехимических процессов. Поэтому в ряде опубликованных работ его предлагается заменить на другие сореагенты. К таковым сореагентам относились менее дефицитный фталевый ангидрид, 4-метилтетрагидрофталевый ангидрид и др. Переработку данных кубовых остатков проводили в области широких температур от 140 до 200 °С и продолжительности процесса до 40 часов.

Исследования по поиску дополнительного сореагента позволили прийти к заключению, что наиболее перспективной является малеиновая кислота, которая присутствует в побочных продуктах производств малеинового и фталевого ангидридов.

В состав кубового остатка от совместного получения стирола и оксида пропилена через стадию дегидратации метилфенилкарбинола входят: бензол, этилбензол, стирол, альфаметилстирол, бензальдегид, ацетофенон, метилфенилкарбинол (МФК), дифенилдиэтиловый эфир, высококипящие соединения и тяжёлые смолы. Содержание таких компонентов, как стирол, достигает 50 % мас. и более; альфаметилстирола – 3,0 % мас.; МФК – 20 % мас.; высококипящие соединения и тяжёлые смолы – более 30 % мас.

Физические характеристики данного побочного продукта представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физические характеристики кубового остатка

Наименование показателя	Значение
Плотность при 25 °С, г/см^3	0,935–0,950
Температура вспышки, °С	78–93
Температурные пределы выкипания при 0,1 МПа, °С	80–300
Кинематическая вязкость, м^2/с	(18–92) · 10^{-6}

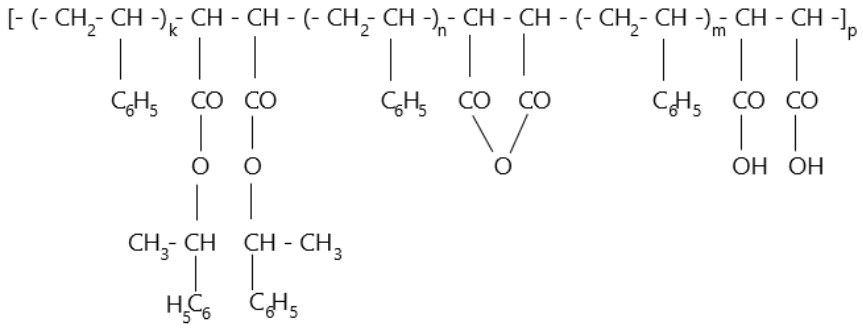
В изученных работах указывается, что для утилизации КОРС (отходов совместного синтеза стирола и окиси пропилена) целесообразно использовать высокотемпературную обработку в присутствии малеиновой кислоты. Последняя является побочным веществом, образующимся в ходе получения фталевого и малеинового ангидридов. Дозировку малеиновой кислоты выдерживали 10 % мас. При проведении процесса при температуре 150 °С более 50 % звеньев малеиновой кислоты теряют воду и превращаются в малеиновый ангидрид.

На основе данных, полученных в ходе опытов, можно предположить строение сополимерной цепи, в которой присутствуют карбоксильная, ангидридная и сложноэфирная группы. При этом во всех случаях эфирное число, определяющее наличие сложноэфирной группы в веществе, по сравнению с кислотным числом преобладает. Это позволяет предположить, что сложноэфирная группа образуется как в процессе взаимодействия малеиновой кислоты с метилфенилкарбинолом (МФК) в результате реакции этерификации, так и, возможно, путём взаимодействия МФК с карбоксильными группами сополимерной цепи. Наличие карбоксильной, ангидридной и сложноэфирной групп сополимерной цепи подтверждается данными анализа ИК спектроскопии.

В ИК спектре сополимера отмечены полосы поглощения, подтверждающие полистирольную основу в области 1640, 1030, 906, 750, 700 см$^{-1}$. Интенсивное поглощение в области 1820 и 1770 см$^{-1}$ характерно для ангидридных полос (сочетание стирол-ангидрид в полистирольной цепи), а также для ангидрида малеиновой кислоты. Полоса поглощения в области 1710 см$^{-1}$ характеризует саму малеиновую кислоту ν(C–O) (димер), плечо на полосе поглощения в области 1710–1660 см$^{-1}$ подтверждает двойную связь ν(C–C) в *цис*-положении. Ангидридная полоса в области 1800–1850 см$^{-1}$ и поглощение в области 1740 см$^{-1}$ относятся к сложноэфирной группе.

Наличие ангидридных и карбоксильных групп в олигомере создаёт термодинамические предпосылки для образования ковалентных связей с гидроксильными группами целлюлозы и гемицеллюлозы [2]. Согласно данным термогравиметрического анализа [19], при температуре 160 °С активируются реакции этерификации между ангидридными группами малеинового звена и С6-ОН группами глюкозных остатков целлюлозы. Образование сложноэфирных связей подтверждается снижением интенсивности полосы ν(O–H) в области 3340 см$^{-1}$ в ИК-спектрах модифицированной древесины и появлением полосы ν(C=O) сложноэфирной группы в области 1735 см$^{-1}$. Такой механизм химической «сшивки» древесной матрицы объясняет необратимость снижения водопоглощения даже после 30 суток экспозиции в воде, в отличие от физической модификации, где эффект часто обратим [3].

На основе спектральных исследований строение используемого для модификации натуральной древесины сополимера можно представить в следующем виде:



Интервалы значений показателей получаемого сополимера «СТАМ» представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели сополимера «СТАМ»

Наименование показателя	Значение
Выход сополимера, % мас.	80–90
Кислотное число, мг КОН/г	15–25
Эфирное число, мг КОН/г	50–80

Наличие ангидридных и карбоксильных групп в сополимере обуславливается содержанием малеиновой кислоты в реакционной смеси. При увеличении содержания стирола в реакционной смеси количество этих групп повышается и в полимерной цепи. Влияние содержания стирола на число ангидридных и карбоксильных групп можно объяснить тем, что сополимерная цепь образуется в результате взаимодействия стирола и сополимерных цепочек с малеиновой кислотой и её ангидридом. Очевидно, чем больше цепей и чем они длиннее, тем больше они будут содержать в себе ангидридных и карбоксильных групп.

Наличие большого количества мономерных звеньев, содержащих кислород в полимерных цепях, повышает функциональность макромолекул и их сродство к компонентам, входящим в состав древесины.

Таким образом, экспериментальные результаты позволяют предположить перспективность применения данного продукта для модификации древесины с целью получения древесно-полимерного композита [4].

Ключевыми характеристиками любого полимерного материала считаются его молекулярная масса и характер распределения цепей по длине (так называемое молекулярно-массовое распределение, или ММР). Изучению ММР уделяется большое внимание как в теории, так и на практике, поскольку этот параметр наряду с химическим строением полимерных цепей сильно влияет на свойства вещества. Особенно заметно это влияние на реологические характеристики (способность к течению). Например, с увеличением средней длины цепей вязкость резко возрастает. Кроме того, механические свойства полимеров во многом определяются как средним значением молекулярной массы, так и формой кривой ММР (шириной распределения). В свою очередь, то, какими будут молекулярная масса и тип распределения, зависит от метода синтеза и условий получения полимера [20, 21].

В данной работе изучался сополимер, полученный на основе кубового остатка, который образуется при очистке стирола (лак СТАМ) в процессе совместного производства стирола и оксида пропилена. Исходные характеристики указанного сополимера приведены ниже

$$M_n = 1920;\ M_w = 26\ 490;\ M_z = 252\ 380;$$
$$M_w / M_n = 13{,}80;\ M_z / M_w = 9{,}53.$$

Молекулярно-массовые характеристики сополимера, полученного на основе производства стирола из этилбензола (лак КОРС), обладал следующими показателями:

$$M_n = 4120;\ M_w = 49\ 000;\ M_z = 215\ 850;$$
$$M_w / M_n = 11{,}90;\ M_z / M_w = 4{,}45.$$

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

содержание стирола 50 %

$$M_n = 750;\ M_w = 1040;\ M_z = 1710;\ M_w / M_n = 1{,}39;$$
$$M_z / M_w = 1{,}64$$

содержание стирола 80 %

$$M_n = 143\ 0;\ M_w = 10\ 890;\ M_z = 90\ 370;$$
$$M_w / M_n = 7{,}16;\ M_z / M_w = 8{,}30$$

Исследование ММР, полимера, используемого для модификации древесины, осуществляли на приборе UOTERS-200 методом гельпроникающей хроматографии. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сополимер на основе СТАМ обладает невысокой молекулярной массой (олигомер) и его углеводородный раствор должен относительно легко проникать в проводящие структуры натуральной древесины [13].

Пропитывающие составы для модификации натуральной древесины берёзы на основе побочного продукта от совместного производства стирола и оксида пропилена осуществляли следующим образом.

По второму способу в смесителе гомогенизировали толуольные растворы на основе содержащего стирол олигомера из ПППППБ и «Лака СТАМ». Содержание связанного стирола в олигомере из ПППППБ 50 %. Общее присутствие стирольного компонента выдерживали 60–80 %. Содержание олигомеров в приготовленном композите 20–50 % мас.

Таким образом, в пропитывающем составе выдерживалось высокое содержание стирольного компонента за счёт дополнительного введения содержащего стирол олигомера на основе «Лака СТАМ». Данный приём позволяет снизить применение дорогого и дефицитного винилароматического мономера при изготовлении олигомерного продукта на основе ПППППБ. Это способствует комплексной утилизации имеющихся отходов, снижает загрязнение окружающейся среды, более пол-

но и рационально используется ценное углеводородное сырьё [1].

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

Для экспериментов использовали образцы древесины берёзы. Данная лиственная порода широко распространена на территории России. Из неё изготавливали образцы древесины размером 20 × 20 × 30 мм. Средняя плотность образцов древесины составляла 635 кг/м^3.

Подготовленные берёзовые образцы помещали в пропиточный раствор, предварительно разогретый до 90 ± 2 °С, и выдерживали в нём 10 часов. Затем модифицированную древесину подвергали дегазации при 90–100 °С, чтобы удалить толуол и другие легкокипящие компоненты. После этого следовала термообработка: образцы нагревали до 160 ± 2 °С и выдерживали при этой температуре 5 часов. Добавленный в состав сиккатив ускоряет отверждение лакокрасочных материалов, выступая как катализатор окислительной полимеризации.

Количество пропиточного состава, поглощённого древесиной, определяли гравиметрически – по разнице массы образцов до и после пропитки. Чтобы оценить эффективность пропитки, у модифицированной древесины измеряли несколько показателей:

– водопоглощение согласно ГОСТ 16483.20-72;

– влагопоглощение по ГОСТ 16483.19-72;

– разбухание в тангенциальном и радиальном направлениях.

На первом этапе проведены испытания древесины, модифицированной олигомером на основе двух видов стирольного производства: «Лака СТАМ» и «Лака КОРС». Результаты представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Показатели древесины берёзы, модифицированной продуктом на основе «Лака СТАМ»

Характеристика олигомера		**Показатели**		
Общее содержание стирольного компонента, % мас.	Содержание малеиновой кислоты, % мас.	Водопоглощение, %	Разбухание в радиальном направлении, %	Разбухание в тангенциальном направлении, %
80	10	15,5 40,7	3,0 4,8	4,6 5,7

Примечание: содержание олигомера в березе 16,3 % мас.; числитель – испытания через 1 сутки; знаменатель – через 30 суток

Таблица 4. Показатели древесины берёзы, модифицированной продуктом на основе «Лака КОРС»

Характеристика олигомера		**Показатели**		
Общее содержание стирольного компонента, % мас.	Содержание малеинового ангидрида, % мас.	Водопоглощение, %	Разбухание в радиальном направлении, %	Разбухание в тангенциальном направлении, %
80	3	18,4 49,6	3,7 5,6	5,5 6,8

Примечание: содержание олигомера в березе 14,9 % мас.; числитель – испытания через 1 сутки; знаменатель – через 30 суток

Анализируя результаты, представленные в табл. 3 и 4, можно сделать вывод о том, что лучшие показатели имеют образцы древесины, модифицированные «Лаком СТАМ». Это обусловлено тем, что стирольные олигомеры, входящие в состав «Лака СТАМ», характеризуются повышенным содержанием мономерных фрагментов. Эти фрагменты несут на себе химически активные группы, такие как ангидридные и карбоксильные. Присутствие в содержащих стирол олигомерных цепях ангидридных, карбоксильных групп обеспечивает протекание ряда химических взаимодействий данных групп с гидроксильными группами компонентов древесины с образованием сложноэфирных связей [3]. Такое взаимодействие приводит к образованию разветвлённых и сшитых структур. Возникающий древесно-полимерный каркас придаёт изделиям на его основе повышенную водо- и влагостойкость. Чем больше функциональность используемого олигомера для модификации древесины, тем выше и его защитные свойства. В олигомере на основе СТАМ содержание данных групп не менее 10 %, а в олигомере на основе «Лака КОРС» не превышает 5,0 %.

Исследования по использованию для модификации натуральной древесины олигомера на основе ППППБ, приготовленного с использованием в качестве стирольной добавки КОРСа, показало, что для защитной обработки натуральной древесины может быть применён данный продукт [16]. Однако использованию для этих целей «Лака СТАМ» должного внимания уделено не было. В табл. 5 представлены результаты исследований по использованию для модификации древесины берёзы составного пропитывающего состава на основе олигомера приготовленного из ППППБ с содержанием стирола 50 % и «Лака СТАМ».

По второму направлению, как было отмечено выше, проводили приготовление пропитывающего состава путём совмещения олигомера на основе ППППБ и «Лака СТАМ». Введение «Лака СТАМ» осуществляли с таким расчётом, чтобы общее содержание стирольного компонента в приготовленном гибридном пропитывающем составе составляло 50, 60, 70 и 80 %. Присутствие в «Лаке СТАМ» ангидридных карбоксильных групп обеспечивает химическое взаимодействие олигомерных звеньев с гидроксильными группами целлюлозы, гемицеллюлозы [2]. Возникновение межмолекулярных эфирных связей приводит к созданию древесно-полимерного каркаса, обеспечивающего повышенные показатели древесно-полимерному композиту [4].

Общую концентрацию компонентов гибридного пропитывающего состава в толуольном растворе выдерживали 20–50 %. Пропитку образцов древесины берёзы проводили при температуре 90–95 °С в течение 10 часов.

Таблица 5. Показатели древесины берёзы, модифицированной продуктом на основе олигомера от совместной переработки ПППППБ и «Лака СТАМ»

Характеристика олигомера			**Показатель**		
Содержание стирола в олигомере из ПППППБ, %	Дозировка «Лака СТАМ», %	Содержание пропитывающего состава в древесине , %	Водопоглощение, %	Разбухание в радиальном направлении, %	Разбухание в тангенциальном направлении, %
50	0	14,5	22,8 67,7	4,5 5,9	6,6 7,9
50	10	14,6	15,3 52,6	3,2 4,2	5,0 6,4
50	20	13,9	12,0 41,2	3,0 4,1	4,8 5,7
50	30	13,1	10,2 36,4	2,3 3,7	4,2 5,3

Примечание: первая строка – продолжительность испытания 1 сутки; вторая строка – продолжительность испытания 30 суток

Сравнительный анализ полученных результатов с данными литературы показывает, что разработанный гибридный состав (олигомер ПППППБ + «Лак СТАМ») по показателю водопоглощения через 30 суток (36,4 % при дозировке 30 % «Лака СТАМ») превосходит традиционные методы модификации: ацетилированная берёза 42–48 % [9], термомодифицированная при 180 °С – 45–50 % [20]. При этом экономическая эффективность предлагаемого метода выше за счёт использования отходов производства (стоимость «Лака СТАМ» составляет ~15 % от цены первичного стирола). Экологический эффект выражается в утилизации до 80–90 % кубовых остатков стирольного производства, которые иначе требовали бы термической утилизации с образованием CO_2.

Заключение. Анализируя экспериментальные результаты, можно сделать вывод о том, что присутствие малеинезированных групп в пропитывающем составе позволяет получить древесно-полимерный композит, обладающий повышенной водо- и влагостойкостью. Положительный эффект достигается как с применением олигомерных продуктов, как на основе стирольного производства – «Лаки КОРС и СТАМ», так и с использованием гибридного пропитывающего состава на основе олигомера на основе ПППППБ и «Лака СТАМ». Возникновение древесно-полимерного каркаса способствует эффективному противостоянию действию агрессивных сред, в том числе и воды. Оптимальным составом пропитки является гибридный олигомер с содержанием 30 % «Лака СТАМ», обеспечивающий снижение водопоглощения на 46 % и разбухания в тангенциальном направлении на 33 % относительно немодифицированной берёзы.

Литература

1. Васильев В.П. Утилизация отходов нефтехимического синтеза в строительных материалах. М.: Химия, 2018. 210 с.
2. Роуэлл Р.М. Справочник по химии древесины и древесным композитам. М.: Техносфера, 2013. 580 с.
3. Jebrane M., Saeed A. Dimensional stability of wood modified with styrene-maleic anhydride copolymers // Wood Science and Technology. 2014. Vol. 48. P. 105–118.
4. Старк Н.М., Матуана Л.М. Древесно-полимерные композиты: материалы, переработка и эксплуатационные свойства. М.: Лесная промышленность, 2015. 320 с.
5. Шубин Г.С. Термическая и химическая модификация древесины. М.: МГУЛ, 2013. 195 с.
6. Плотников С.М. Формирование и обработка стружечного ковра в производстве древесных плит. Красноярск: СибГТУ, 2014. 165 с.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Изд-во МГУЛ, 2007. 351 с.
8. Sangregorio A. et al. Humin based resin for wood modification and property improvement // Green Chemistry. 2020. Vol. 22. No. 9. P. 2786–2798. DOI: 10.1039/C9GC03620B.
9. Čermák P. et al. Wood-water interactions of thermally modified, acetylated and melamine formaldehyde resin impregnated beech wood // Holzforschung. 2022. Vol. 76. No. 5. P. 437–450. DOI: 10.1515/hf-2021-0164.
10. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 235 с.
11. Дайнеко Н.М., Бачура Ю.М., Жадько С.В. и др. Анатомия и морфология растений. Гомель: УО «ГТУ им. Ф. Скорины», 2007. 153 с.
12. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
13. Siau J.F. Transport Processes in Wood. New York: Springer, 1984.
14. Никулин С.С. Полимерные материалы на основе отходов производства полибутадиена // Производство и использование эластомеров. 2005. № 5. С. 8–13.
15. Филимонова О.Н. Переработка и применение кубовых остатков ректификации стирола. М.: Изд-во «Академия естествознания», 2009. 76 с.
16. Никулина Н.С., Дмитренков А. И., Никулин С. С. и др. Применение стиролсодержащего олигомерного продукта нефтехимии для модификации древесины // Системы. Методы. Технологии. 2025. № 3 (67). С. 116–122.
17. Филимонова О.Н., Никулин С.С. Исследование процесса переработки ацетофенонового кубового остатка ректифи-

кации стирола с малеиновой кислотой // Журнал прикладной химии. 2002. Т. 75. Вып. 8. С. 1315–1319.
18. Филимонова О.Н., Никулин С.С., Лычкин И.П. Исследование процесса сополимеризации ацетофенонового кубового остатка ректификации стирола с малеиновой кислотой // Журнал прикладной химии. 2002. Т. 75. Вып. 1. С. 120–124.
19. Mantanis G. I. et al. Thermal analysis of chemically modified wood // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2017. Vol. 126. P. 214–222.
20. Bekhta P. et al. Effect of thermal treatment on the colour and mechanical properties of veneer // Wood Science and Technology. 2009. Vol. 43. P. 331–340.
21. Hill C.A.S. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. Chichester: Wiley, 2006.

References

1. Vasiliev V.P. Utilization of petrochemical synthesis waste in building materials. Moscow: Khimiya, 2018. 210 p.
2. Rowell R.M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Moscow: Tekhnosfera, 2013. 580 p.
3. Jebrane M., Saeed A. Dimensional stability of wood modified with styrene-maleic anhydride copolymers // Wood Science and Technology. 2014. Vol. 48. P. 105–118.
4. Stark N.M., Matuana L.M. Wood-Polymer Composites: Materials, Processing, and Performance Properties. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 2015. 320 p.
5. Shubin G.S. Thermal and Chemical Modification of Wood. Moscow: MGUL, 2013. 195 p.
6. Plotnikov S.M. Formation and Processing of Particle Mat in the Production of Wood-Based Panels. Krasnoyarsk: SibGTU, 2014. 165 p.
7. Ugolev B.N. Wood Science and Forest Product Science. Moscow: MGUL Publishing House, 2007. 351 p.
8. Sangregorio A. et al. Humin based resin for wood modification and property improvement // Green Chemistry. 2020. Vol. 22. No. 9. P. 2786–2798. DOI: 10.1039/C9GC03620B.
9. Čermák P. et al. Wood-water interactions of thermally modified, acetylated and melamine formaldehyde resin impregnated beech wood // Holzforschung. 2022. Vol. 76. No. 5. P. 437–450. DOI: 10.1515/hf-2021-0164.
10. Melnikova L.V. Technology of Wood-Based Composite Materials. Moscow: GOU VPO MGUL, 2007. 235 p.
11. Dayneko N.M., Bachura Y.M., Zhadko S.V. et al. Anatomy and Morphology of Plants. Gomel: Educational Institution "GSTU named after F. Skorina", 2007. 153 p.
12. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. Chemistry of Wood and Synthetic Polymers. St. Petersburg: Lan, 2010. 624 p.
13. Siau J.F. Transport Processes in Wood. New York: Springer, 1984.
14. Nikulin S.S. Polymer materials based on polybutadiene production waste // Production and Use of Elastomers. 2005. No. 5. P. 8–13.
15. Filimonova O.N. Processing and Application of Bottom Residues from Styrene Rectification. Moscow: Publishing House "Academy of Natural Sciences", 2009. 76 p.
16. Nikulina N.S., Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. et al. Application of a styrene-containing oligomeric petrochemical product for wood modification // Systems. Methods. Technologies. 2025. No. 3(67). P. 116–122.
17. Filimonova O.N., Nikulin S.S. Study of the processing of acetophenone bottom residue from styrene rectification with maleic acid // Journal of Applied Chemistry. 2002. Vol. 75. Issue 8. P. 1315–1319.
18. Filimonova O.N., Nikulin S.S., Lychkin I.P. Study of the copolymerization process of acetophenone bottom residue from styrene rectification with maleic acid // Journal of Applied Chemistry. 2002. Vol. 75. Issue 1. P. 120–124.
19. Mantanis G.I. et al. Thermal analysis of chemically modified wood // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2017. Vol. 126. P. 214–222.
20. Bekhta P. et al. Effect of thermal treatment on the colour and mechanical properties of veneer // Wood Science and Technology. 2009. Vol. 43. P. 331–340.
21. Hill C.A.S. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. Chichester: Wiley, 2006.