

Петри В. Н. Получение пластика из древесины березы с ложным ядром // Технология древесных плит и пластиков : межвузовский сборник. Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола, 1979, Вып. VI. – С. 49–54.

4. Криворотова А. И. Исследование адгезионного взаимодействия жидкого клея с древесиной: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Красноярск, 1999. – 144 с.

5. Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Теоретическое и экспериментальное обоснование характера взаимодействия модифицированных связующих с древесиной // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2022. № 6(390). – С. 153-163. [https:// doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-153-163](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-153-163).

6. Чумак К.А., Титунин А.А. Технологические аспекты двухэтапного способа получения фанеры с использованием влажного шпона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии, 2024. № 3(31). – С.69–79. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.3.69>.

7. Мурзин В.С., Ищенко Т.Л., Лавлинская О.В. Исследование смазываемости поверхности шпона и других композиционных материалов // Лесотехнический журнал, 2012. № 3(7). – С. 14–20.

УДК 630·381.2

М. Г. Глазунова, ст. преп., Т. А. Круль, асп.  
(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С. М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Россия)

## **РАЦИОНАЛЬНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ЛИГНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Современные тенденции устойчивого развития предусматривают реализацию стратегических инициатив, направленных на внедрение экологически ориентированных («зелёных») технологий в деятельность крупных промышленных комплексов. В лесопромышленном комплексе под «зелёными» технологиями понимается рациональное и комплексное использование древесных ресурсов, включая глубокую переработку отходов лесозаготовки, механической обработки древесины, а также целлюлозно-бумажного и лесохимического производств. Данный подход отражает приоритетность научных исследований в области ресурсосбережения и минимизации техногенного воздействия на окружающую среду. Актуальность изучения и практического применения лигнина и его производных в качестве модифицирующих добавок к строительным материалам определяется совокупностью экологических, экономических и технологических факторов.

Комплексная переработка древесных отходов предполагает расширение направлений использования побочных продуктов механической и химической обработки древесины для улучшения свойств и повышения долговечности строительных материалов.

Лигнин является одним из наиболее распространённых природных полимеров растительного происхождения. Сложная макромолекулярная структура и многообразие химических свойств определяют его высокий научный и прикладной потенциал. Согласно данным International Lignin Institute, доля лигнина, вовлекаемого в промышленное использование, не превышает 2 %, тогда как остальной объём сжигается в энергетических установках или накапливается в виде отходов.

В отечественной промышленности основными источниками получения лигнина выступают гидролизное и целлюлозно-бумажное производства. Наиболее распространёнными его формами являются сульфатный лигнин, лигносульфонаты и гидролизный лигнин. Несмотря на значительные объёмы производства сульфатной целлюлозы, извлечение сульфатного лигнина из технологического цикла экономически нецелесообразно, так как около 98 % данного продукта утилизируется путём сжигания в процессе регенерации чёрного щёлоча. Лигносульфонаты, напротив, представляют собой ценный побочный продукт сульфитной варки древесины и считаются наиболее доступной и широко применяемой формой природных полимеров фенольной структуры. По данным аналитического отчёта Discovery Research Group (2018), на их долю приходится свыше 90 % мирового рынка лигнинов. Значительный промышленный интерес также представляет гидролизный лигнин – побочный продукт гидролизных производств, суммарные запасы которого оцениваются в десятки миллионов тонн. Однако, несмотря на существенную сырьевую базу, гидролизный лигнин до настоящего времени используется в ограниченных объёмах, преимущественно в энергетических целях.

Технические лигнины находят потенциальное применение в самых различных отраслях: строительстве, химической, металлургической, горнодобывающей и нефтегазовой промышленности, а также в медицине, сельском хозяйстве и энергетике. Тем не менее доля промышленного использования технического лигнина остаётся крайне низкой, что указывает на отсутствие эффективных технологических решений и необходимость дальнейших исследований, направленных на расширение областей применения этого ценного биополимера. Рациональное использование лигносодержащих отходов в крупнотоннажных технологических процессах остаётся одной из ключевых за-

дач устойчивого развития химико-лесного комплекса. С этой позиции наибольший промышленный и экологический потенциал демонстрирует применение технических препаратов лигнина в строительной отрасли. Значительный научный интерес вызывает внедрение лигносодержащих добавок в технологии производства фанеры и древесных композиционных материалов [1]. Лигнин в таких системах используется преимущественно в качестве дополнительного наполнителя фенолоформальдегидных и карбамидоформальдегидных смол, обеспечивая замещение 10–15 мас. % древесных наполнителей и выступая в роли пластификатора клеевых систем. Введение препаратов лигнина способствует снижению эмиссии формальдегида, улучшению смачиваемости шпона и увеличению прочности на сдвиг при повышении водостойкости продукции. Одновременно отмечается ускорение отверждения клеевых композиций, что требует технологической корректировки скорости нанесения клея. Экономическая эффективность достигается благодаря снижению расхода синтетических смол на 10–20 % и вовлечению в переработку отходов целлюлозно-бумажной промышленности.

Разработка лигнофенолоформальдегидных смол (ЛФФС) представляет собой перспективное направление по созданию биоориентированных материалов. Данное направление обусловлено необходимостью утилизации лигносодержащих отходов, а также снижением экологической нагрузки за счёт частичного замещения фенола техническими препаратами лигнина. В Российской Федерации исследования в области ЛФФС носят преимущественно лабораторный характер, а промышленное применение ограничивается отдельными предприятиями, где степень замещения фенола достигает 20 %. При этом результаты отечественных и зарубежных исследований подтверждают возможность увеличения степени замещения до 30–40 % без ухудшения физико-механических характеристик древесных плит и фанеры. Для синтеза ЛФФС применяются как лигносульфонаты, так и химически модифицированный гидролизный лигнин [2, 3]. Повышение доли биосырья позволяет существенно снизить потребление нефтехимического фенола и повысить экологическую эффективность производства терморезистивных смол.

Высокую практическую значимость имеет также применение лигносодержащих препаратов в дорожном строительстве [4]. Лигнин используется в качестве активного наполнителя и модификатора асфальтобетонных смесей, обеспечивая частичное замещение минерального порошка (5–20 мас. %) и повышение адгезии битума к минеральным агрегатам. Лигносульфонаты, обладая выраженными поверх-

ностно-активными свойствами, улучшают микроструктуру вяжущей фазы и увеличивают устойчивость покрытия к пластическим деформациям до 60 % по индексу динамического модуля, одновременно снижая температурную чувствительность асфальта. Применение гидролизного лигнина в качестве стабилизатора (0,3–0,5 мас. %) в щебёночно-мастичных асфальтобетонах повышает водостойкость и трещиностойкость покрытий, увеличивая межремонтный период эксплуатации на 30–50 %. Препараты лигнина используются также для укрепления и обеспыливания грунтов, как эмульгаторы в битумных эмульсиях и как биооснова для лигно-битумных материалов.

В ряде зарубежных проектов, например в Швеции, лигнин хвойных пород успешно применяется в качестве частичного заменителя нефтяного битума, что способствует снижению углеродного следа дорожного строительства.

Применение технических лигнинов выходит далеко за рамки традиционных цементосодержащих и древесных композиций. В керамических материалах введение 11–12 мас. % гидролизного лигнина в глинистые массы обеспечивает формирование контролируемой пористости за счёт карбонизационно-выгорающего механизма, снижая температуру обжига на 15–20 % и повышая морозостойкость изделий до  $F > 50$  циклов при сохранении требуемой прочности. В цементогрунтовых и сухих строительных смесях (штукатурных, выравнивающих, пылеподавляющих) добавление лигнина в объёме 15–20 мас. % позволяет частично заменить портландцементный клинкер, улучшая реологические характеристики, плотность ( $\rho = 1,8–2,0 \text{ г/см}^3$ ) и гидрофобность за счёт поверхностной модификации частиц. В лигноцеллюлозных конструкциях (ламинированные элементы, паркетные доски) лигнинсодержащие препараты снижают биодеструкцию и повышают модуль упругости на 10–15 %. Перспективным направлением исследований является создание функционализированных наночастиц лигнина для применения в технологиях 3D-печати и разработке самовосстанавливающихся полимерцементных покрытий с повышенной трещиностойкостью.

Таким образом, анализ современных научных и прикладных данных подтверждает высокий потенциал технических лигнинов, прежде всего лигносульфонатов и гидролизного лигнина, в качестве полифункциональных модификаторов строительных композиций. Их применение способствует замещению фенола в термореактивных смолах, улучшению реологических и адгезионных свойств асфальтобетонных и цементных систем, а также повышению комплексных эксплуатационных характеристик строительных материалов при одно-

временном снижении экологической нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович О. К. Снижение эмиссии формальдегида водостойкой фанеры / О. К. Леонович, И. К. Божелко, О. В. Коняхина // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2023. – № 1 (264).

2. Глазунова М. Г. Влияние содержания щёлочи и продолжительности синтеза на свойства лигнофенолоформальдегидных смол, синтезированных с использованием технических лигносульфонатов / М. Г. Глазунова, Д. В. Иванов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – № 253. – С. 341–359. – DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.341-359. – EDN: PCTZIM.

3. Иванов Д. В. Образование и свойства лигнофенолоформальдегидных смол, синтезированных с использованием окисленного гидролизного лигнина / Д. В. Иванов, М. Г. Глазунова, Э. И. Евстигнеев, А. С. Мазур // Химия растительного сырья. – 2025. – № 3. – С. 329–341. – DOI: 10.14258/jcprm.20250316542. – EDN: RZALMA.

4. Gaudenzi E. A. Systematic literature review on the use of lignin for sustainable road construction // International Journal of Pavement Engineering. – 2025. – DOI: 10.1080/14680629.2025.2595215.

УДК 54.06:504.3

Н. Ю. Санникова, канд. хим. наук, доц.,

П. Т. Суханов, д-р хим. наук, проф.,  
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ», г. Воронеж, Российская Федерация);

Н. В. Маслова, канд. хим. наук, доц.,  
(ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, Российская Федерация)

### **ПРИМЕНЕНИЕ АКРИЛАТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НИТРИТ-ИОНОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ**

Нитриты выступают важными промежуточными соединениями процессов нитрификации и денитрификации, происходящих в природных водоемах. Концентрация нитритов свыше ПДК (предельно допустимая концентрация составляет 3 мг/л для питьевой воды согласно источнику [1]) представляет угрозу здоровью человека и постоянно водных экосистем.

Одним из наиболее распространённых методов определения нитритов является колориметрический анализ, включающий реакцию диазотирования сульфаниламида с последующим образованием азокрасителя с N-(1-нафтил)-этилен-диамином. Несмотря на свою популярность, традиционные методики имеют ограничения точности, обу-