

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 173–1816.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 173–181.

Научная статья

УДК 630.817.8:66.095.3

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.017

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАУРЕТСУЛЬФАТА НАТРИЯ В ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВАХ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Максим Наильевич Тухбатулин¹, Алексей Евгеньевич Шкуро²,
Татьяна Валерьевна Якубова³

^{1,3} Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ tuchbatulin93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4586-1143>

² shkuroae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

³ tatanaakubova71723@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1880-8368>

Аннотация. Исследовано влияние лауретсульфата натрия в качестве модификатора огнезащитных пропиточных растворов на основе солей аммония и тетрабората на характеристики древесины. Установлена количественная зависимость смачиваемости, кинетики капиллярного впитывания и огнестойкости пропитанной древесины от концентрации лауретсульфата натрия (0–0,20 мас. %). Показано, что добавление поверхностно-активного вещества существенно снижает краевой угол смачивания (до 57–58° при 0,10–0,15 %) и увеличивает глубину капиллярного подъема (максимум 20,67 мм при 0,15 %). При этом эффективность огнезащиты, оцениваемая по потере массы образца при горении, имеет экстремум при концентрации лауретсульфата натрия 0,07 мас. %, что на 3,1 % лучше контроля. Выявленное расхождение оптимальных концентраций для капиллярного впитывания (0,15 %) и огнестойкости (0,07 %) указывает на необходимость комплексного подхода при разработке составов. Результаты доказывают целесообразность применения лауретсульфата натрия для балансирования технологичности пропитки и эксплуатационных свойств огнезащитного покрытия древесины.

Ключевые слова: древесина, снижение горючести, антипирены, пропиточный раствор, ПАВ, лауретсульфат натрия, огневая труба

Для цитирования: Тухбатулин М. Н., Шкуро А. Е., Якубова Т. В. Применение лауретсульфата натрия в огнезащитных пропиточных составах для древесины // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 173–181.

Original article

APPLICATION OF SODIUM LAURETH SULFATE IN FIRE RETARDANT IMPREGNATION COMPOSITION FOR WOOD

Maxim N. Tukhbatulin¹, Alexey E. Shkuro², Tatiana V. Yakubova³

^{1,3} Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

² Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ tuchbatulin93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4586-1143>

² shkuroae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

³ tatanaakubova71723@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1880-8368>

Abstract. The effect of sodium laureth sulfate as a modifier of fire retardant impregnating solutions based on ammonium salts and tetraborate on the characteristics of wood was researched. A quantitative dependence of wettability, capillary absorption kinetics, and fire resistance of impregnated wood on the concentration of sodium laureth sulfate (0–0,20 wt. %) was established. It was shown that the addition of a surfactant significantly reduces the contact angle (to 57–58° at 0,10–0,15 %) and increases the capillary rise depth (maximum 20,67 mm at 0,15 %). Moreover, the fire protection efficiency, assessed by the sample mass loss during combustion, has an extremum at a sodium laureth sulfate concentration of 0,07 wt. %, which is 3,1 % better than the reference value. The observed discrepancy between the optimal concentrations for capillary absorption (0,15 %) and fire resistance (0,07 %) indicates the need for an integrated approach when developing formulations. The results demonstrate the feasibility of using sodium laureth sulfate to balance the processability of impregnation and the performance properties of fire-retardant wood coatings.

Keywords: wood, flammability reduction, fire retardants, impregnation solution, surfactant, sodium laureth sulfate, fire tube

For citation: Tukhbatulin M. N., Shkuro A. E., Yakubova T. V. Application of sodium laureth sulfate in fire retardant impregnation composition for wood // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 173–181.

Введение

Древесина сохраняет свою значимость в строительстве и промышленности благодаря комплексу преимущественных характеристик, включая возобновляемость, низкую энергоемкость переработки, высокий удельный предел прочности, а также способность регулировать влажность в помещениях за счет гигроскопичности (Страшнов, 2008; Чирков и др., 2021). Однако высокая горючесть, обусловленная лигноцеллюлозной природой материала, ограничивает его применение в ответственных конструкциях. При термическом воздействии происходит интенсивное выделение летучих продуктов пиролиза, что требует обязательной огнезащитной обработки (Абдукадиров и др., 2025, Акинин и др., 2013; Ахраров и др., 2017; Дорожкин, Гончаров, 2018; Кухарев, 2015).

Современные нормы пожарной безопасности предъявляют комплексные требования к материалам: помимо снижения воспламеняемости, необходимо подавление дымообразования, замедление распространения пламени и перевод древесины в категорию трудногорючих материалов (Газизов и др., 2025; Петрова, 2011; Оптимизация рецептуры..., 2025). Наиболее эффективным методом является глубокая пропитка антипиренами, среди которых составы на основе фосфатов аммония демонстрируют оптимальное сочетание глубины проникновения, долговечности и экологической безопасности (Покровская, Портнов, 2015). Ключевым условием формирования эффективного термозащитного барьера является равномерное распределение антипирена по всей капиллярно-пористой структуре древесины.

Для повышения эффективности пропитки перспективным направлением является модификация пропиточных растворов поверхностно-активными веществами (ПАВ). Снижая поверхностное натяжение и краевой угол смачивания, ПАВ способствуют усилению капиллярного подсоса и более глубокому проникновению активных компонентов в материал (Тухбатулин и др., 2025). В этой связи актуальной задачей является поиск оптимального баланса между типом и концентрацией ПАВ, обеспечивающего максимальное улучшение реологических свойств раствора без негативного влияния на огнезащитную эффективность конечного состава. Решение данной задачи позволит разработать более действенные пропиточные системы, способствующие расширению безопасного применения древесины в контексте принципов устойчивого развития.

Особый интерес в качестве модификатора пропиточных растворов представляет лауретсульфат натрия (ЛЭСН, Sodium Laureth Sulfate, SLES) – анионное ПАВ, представляющее собой смесь моно- и диэфиров серной кислоты с полиоксиэтилированным лауриловым спиртом (в среднем 2–3 звена оксиэтилена) в форме натриевой соли. Структурная формула лауретсульфата натрия представлена на рис. 1 (Тухбатулин и др., 2025).

Ключевым преимуществом лауретсульфата перед лаурилсульфатом является уменьшенная агрессивность к биологическим тканям и ма-

териалам при сохранении высокой эффективности снижения поверхностного натяжения (до 30–35 мН/м при концентрациях выше критической концентрации мицеллообразования, ККМ $\approx 0,01 \dots 0,03$ мас. % в водных растворах). Полиоксиэтиленовый фрагмент обеспечивает повышенную устойчивость к жесткости воды и совместимость с другими компонентами многофункциональных составов, включая полимерные связующие и соли, применяемые в огнезащитных пропитках. Благодаря гибкой молекулярной структуре лауретсульфат демонстрирует выраженную способность к адсорбции на границе раздела фаз раствор – твердое тело, что способствует улучшению смачиваемости пористых материалов, включая древесину и текстиль (El-Dossoki et al., 2019; Sodium lauryl..., 2017; Тухбатулин и др., 2025).

В отличие от лаурилсульфата лауретсульфат менее подвержен десорбции в процессе сушки пропитанного материала, что способствует формированию более стабильного распределения активных компонентов в поровой структуре (Sub-clinical..., 2001). Эти особенности делают лауретсульфат перспективным модификатором для огнезащитных и функциональных пропиток, где требуется баланс между технологичностью нанесения и эксплуатационными характеристиками материала.

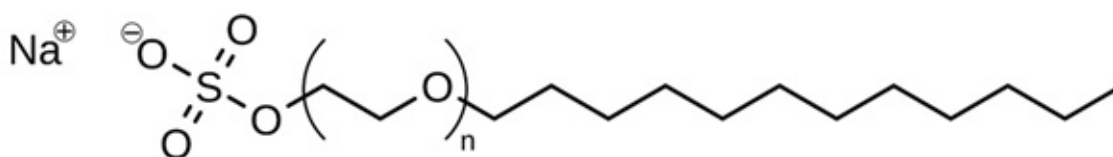


Рис. 1. Структурная формула лауретсульфата натрия

Fig. 1. Structural formula of sodium laureth sulfate

Цель, объекты и методика исследования

Целью работы является установление количественной зависимости между концентрацией лауретсульфата натрия в огнезащитном пропиточном растворе и комплексом функциональных характеристик обработанной древесины – смачиваемостью, кинетикой капиллярного впитывания

и огнестойкостью – с целью определения оптимальной дозировки ПАВ, обеспечивающей баланс между технологичностью пропитки и эксплуатационными свойствами защитного покрытия.

В качестве основных действующих компонентов огнезащитных пропиточных растворов в настоящем исследовании использовали однозамещенный фосфат аммония (ГОСТ 3771–74)

и тетраборат натрия (ГОСТ 8429–77). В качестве ПАВ применяли лауретсульфат натрия марки Техарон № 70, предоставленный ООО Asmago (г. Екатеринбург). Рецептуры исследованных пропиточных растворов для древесины приведены в таблице.

Стандартные образцы древесины сосны, предварительно высушенные до постоянной массы, пропитывали в полученных огнезащитных растворах. Пропитку проводили путем выдерживания образцов в растворе в течение 24 ч. После извлечения поверхность образцов промокали хлопчатобумажной тканью для удаления избытка раствора и взвешивали на лабораторных весах. Завершающим этапом была воздушная сушка образцов в течение 7 сут при комнатной температуре.

Для определения эффективности действия лауретсульфата натрия проводились испытания на установке «огневая труба» (рис. 2) по ГОСТ Р 53292–2009. Сущность метода заключается в определении показателя потери массы после прямого воздействия пламени. Изменение массы

(P_i , %) образцов древесины после проведения испытаний определяли по формуле

$$P_i = \frac{(m_{i1} - m_{i2})}{m_{i1}} 100, \quad (1)$$

где m_{i1} – масса образца до испытания, г;

m_{i2} – масса образца после испытания, г.

Полученные результаты округляли до 0,1 %.

Кинетику капиллярного впитывания пропиточных растворов исследовали на образцах древесины сосны обыкновенной (размер 3×115 мм). Образцы закрепляли вертикально в чашках Петри пластмассовыми зажимами, обеспечивая погружение нижнего торца на глубину $6,0 \pm 0,5$ мм в раствор объемом 40 мл. Эксперимент проводили в течение 24 ч при стабильной температуре 25 ± 1 °С, контролируя уровень раствора. Положение фронта пропитки регистрировали с точностью $\pm 0,05$ мм штангенциркулем через заданные промежутки времени в течение 24 ч. Краевой угол смачивания определяли по методу сидячей капли, при этом в качестве подложки использовался полиэтилен высокой плотности.

Рецептуры исследованных огнезащитных составов
Formulations of the studied fire-retardant compounds

№ No	Содержание компонента в растворе, мас. % Content of the component in the solution, wt. %			Концентрация лауретсульфата натрия, % (от массы раствора) Sodium laureth sulfate concentration, % (by solution weight)
	Фосфат аммония однозамещенный Monoammonium phosphate	Тетраборат натрия (ГОСТ 8429–77) Sodium tetraborate (GOST 8429–77)	Вода Water	
1	–	–	100,00	–
2	16,32	2,04	81,64	–
3				0,01
4				0,05
5				0,10
6				0,15

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлена зависимость краевого угла смачивания пропиточных растворов от массовой доли лауретсульфата натрия. Экспериментальные данные демонстрируют четкую обратную корреляцию между концентрацией ПАВ и краевым углом. В отсутствие лауретсульфата угол смачивания составляет 70°, что характеризует

умеренную смачиваемость поверхности. Уже при концентрации 0,05 мас. % наблюдается снижение угла до 60°, а при 0,10 мас. % достигается минимальное значение – 58°. Дальнейшее увеличение содержания лауретсульфата до 0,15 мас. % приводит к стабилизации угла на уровне 57–58°, что свидетельствует о насыщении эффекта.

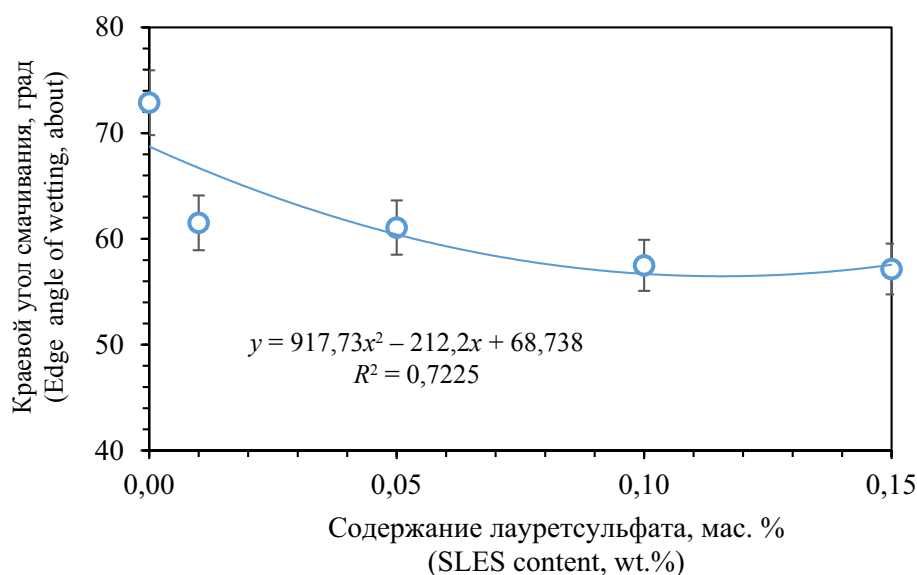


Рис. 2. Краевой угол смачивания пропиточных растворов с различным содержанием лауретсульфата натрия

Fig. 2. Contact angle of impregnation solutions with different sodium laureth sulfate SLES content

Физико-химическая интерпретация полученной зависимости основана на свойствах лауретсульфата как анионного ПАВ. Снижение краевого угла обусловлено адсорбцией молекул лауретсульфата на границе раздела фаз раствор – твердое тело, что приводит к уменьшению поверхностного натяжения жидкости и, как следствие, к улучшению ее способности к растеканию и проникновению внутрь образца древесины. Фиксируемое плато при концентрациях свыше 0,10 мас. % связано с достижением критической концентрации мицеллообразования: избыток молекул ПАВ агрегируется в мицеллы в объеме раствора и уже не приводит к дальнейшему снижению поверхностного натяжения и уменьшению краевого угла.

На рис. 3 представлена кинетика капиллярного впитывания пропиточных растворов в образцы древесины. График рис. 3,а демонстрирует сравнение поведения дистиллированной воды и огнезащитного состава без добавления лауретсульфата натрия. Вода характеризуется интенсивным начальным подъемом в течение первых 500 мин, после чего скорость впитывания замедляется, и к концу эксперимента (1500 мин) высота столба достигает 25,67 мм. Огнезащитный состав без лауретсульфата демонстрирует значительно более низкую способность к капиллярному подъ-

ему: максимальная высота столба составляет лишь 14,67 мм, что на 43 % ниже показателя воды. При этом кривая впитывания огнезащитного состава (ОЗС) без лауретсульфата выходит на плато уже к 800–1000 мин, что указывает на ограниченную смачиваемость поверхности вследствие высокого поверхностного натяжения раствора.

График рис. 3,б отражает влияние концентрации лауретсульфата на кинетику капиллярного подъема огнезащитных составов. Во всех случаях наблюдается характерный двухстадийный процесс: быстрый начальный рост высоты столба в течение первых 300–500 мин с последующим замедлением и выходом на стационарное состояние. Минимальную высоту подъема (16,33 мм) демонстрирует состав с содержанием лауретсульфата 0,01 мас.%. Добавление лауретсульфата в концентрации 0,05 и 0,10 мас.% приводит к незначительному увеличению высоты столба до 17,33 мм. Наиболее выраженный эффект наблюдается при концентрации лауретсульфата 0,15 мас. %: высота капиллярного подъема достигает 20,67 мм, что на 41 % превышает показатель ОЗС без лауретсульфата и на 26 % для состава с 0,01 % лауретсульфата. При этом кривая для 0,15 % лауретсульфата сохраняет положительный наклон на всем протяжении эксперимента, не достигая насыщения к 1500 мин.

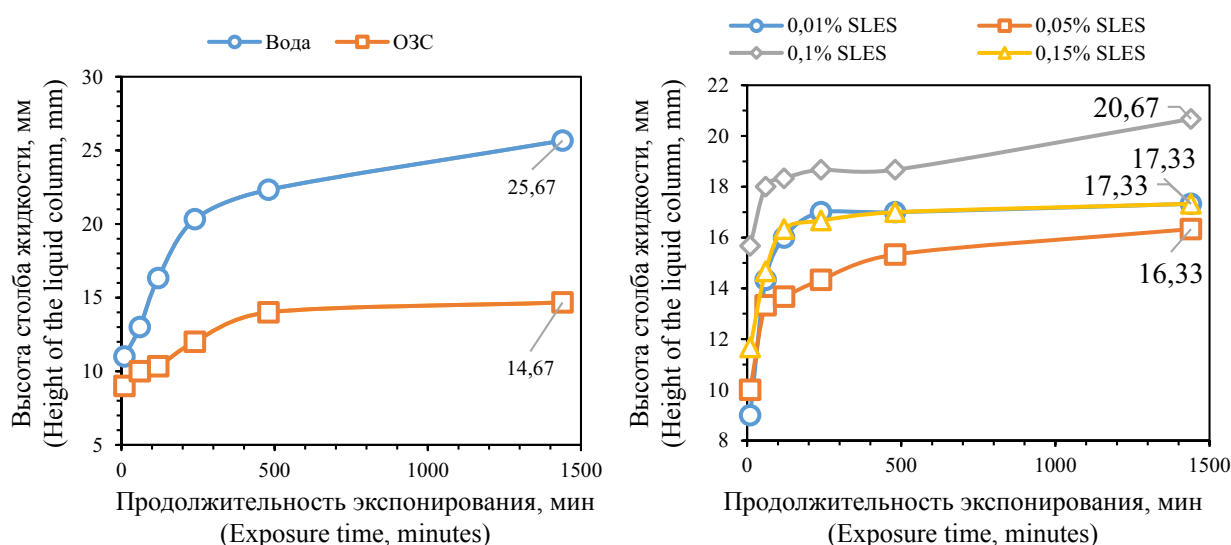


Рис. 3. Кинетика капиллярного впитывания составов:

a – воды и пропиточного огнезащитного раствора без лауретсульфата;
б – огнезащитных растворов с различным содержанием лауретсульфата

Fig. 3. Kinetics of capillary absorption of compounds:

a – water and a fire-retardant solution without laureth sulfate;
b – fire-resistant solutions with different laureth sulfate content

Сравнение с данными по краевому углу смачивания позволяет сделать вывод о различной чувствительности статических (краевой угол смачивания) и динамических (капиллярный подъем) характеристик к концентрации ПАВ. Если снижение краевого угла стабилизируется при концентрации лауретсульфата ~ 0,10 мас. %, то кинетика впитывания продолжает улучшаться вплоть до 0,15 мас. %, что может быть обусловлено дополнительными факторами – снижением эффективной вязкости раствора, изменением структуры мицелл при концентрациях выше критической или синергетическим взаимодействием лауретсульфата с другими компонентами огнезащитного состава. Тем не менее даже оптимизированный состав с 0,15 % лауретсульфата уступает по высоте капиллярного подъема воде на 20 %, что свидетельствует о влиянии других компонентов ОЗС на реологические свойства раствора.

На рис. 4 показана зависимость потери массы древесных образцов после огневых испытаний от концентрации лауретсульфата натрия в составе пропиточного раствора. Уменьшение потери массы в интервале 0–0,07 мас. % лауретсульфата связано с повышением смачиваемости и более равномерным распределением раствора в пористой

структуре древесины, что способствует формированию эффективного защитного барьера при термическом воздействии. При превышении данной концентрации наблюдается противоположная тенденция, что, вероятно, обусловлено избыточным мицеллообразованием ПАВ, возможным снижением адгезии функциональных компонентов и нарушением целостности формирующегося защитного слоя.

Установлено, что оптимальные концентрации лауретсульфата различаются в зависимости от рассматриваемого показателя. Для минимизации потери массы при горении наилучший результат достигается при концентрации около 0,07 мас. %, тогда как для обеспечения максимального капиллярного подъема более предпочтительной является концентрация 0,15 мас. %. Это свидетельствует о необходимости комплексной оптимизации состава пропиточных растворов с учетом как технологических параметров обработки, так и требований к эксплуатационным характеристикам материала. Показано, что введение лауретсульфата в количестве 0,07 мас. % снижает потерю массы древесины при горении примерно на 3,1 % по сравнению с ОЗС, не содержащим ПАВ.

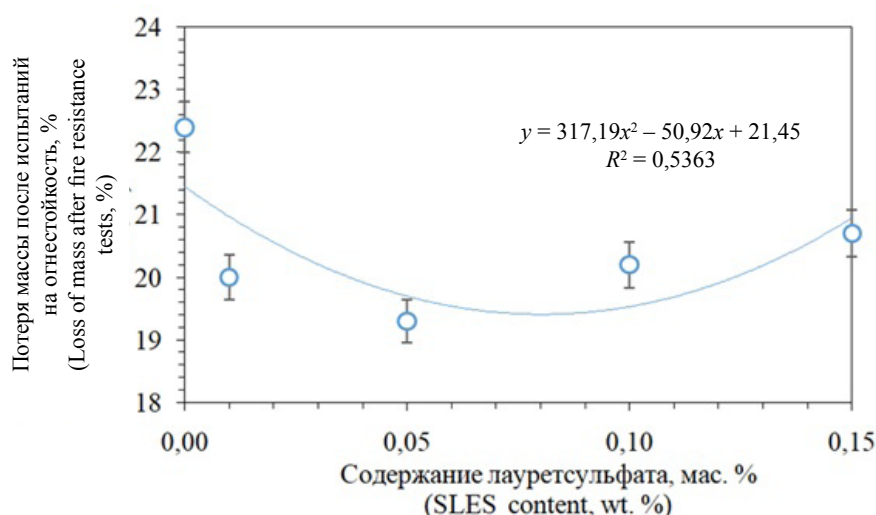


Рис. 4. Потеря массы образцами древесины после испытаний на горючесть
Fig. 4. Weight loss of wood samples after flammability tests

Выводы

1. Экспериментальные данные демонстрируют нелинейное влияние концентрации лауретсульфата натрия на ключевые характеристики пропиточных растворов. Для кинетики капиллярного впитывания оптимальная концентрация лауретсульфата составляет 0,15 мас.%, обеспечивая максимальную высоту подъема (20,67 мм), что на 41 % превышает показатель раствора без ПАВ.

2. В то же время для минимизации потери массы при горении оптимум смещен в область 0,07 мас.%. Такое расхождение объясняется различной чувствительностью статических (огнестойкость) и динамических (капиллярный подъем)

процессов к концентрации ПАВ: при высоких концентрациях лауретсульфата (>0,07 мас.%) избыточные мицеллы нарушают структуру защитного слоя, ухудшая огнезащитные свойства, но продолжают улучшать смачиваемость.

3. Полученные результаты подтверждают необходимость дифференцированного подхода к оптимизации состава растворов, учитывающего как технологические, так и эксплуатационные требования. Точная дозировка лауретсульфата позволяет достичь баланса между равномерной пропиткой и высокой огнестойкостью, что критично для промышленного применения.

Список источников

- Абдукадиров Ф. Б., Сивенков А. Б., Мухамедгалиев Б. А. Исследование процесса и режимов горения огнезащищенных деревянных конструкций // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 6. С. 41–46. DOI: 10.31044/1994-6260-2025-0-6-41-46
- Акинин Н. И., Мельников Н. О., Максименко С. А. Вопросы снижения пожарной опасности древесины // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 3 (25). С. 28–31.
- Ахраров Б. Б., Алламуратов М. У., Мухамедгалиев Б. А. Исследование горения огнезащищенных древесных материалов, модифицированных полимерными антипиренами // Пластические массы. 2017. № 1–2. С. 37–39.
- Газизов А. А., Газизов А. М., Галиев Р. Р. Жидкое стекло и кремнеземный порошок как основа для защиты древесины от огня // Системы. Методы. Технологии. 2025. № 2 (66). С. 109–114. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-109-114
- ГОСТ 3771–74. Реактивы. Аммоний фосфорнокислый однозамещенный. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1974. 12 с.
- ГОСТ 8429–77. Бура. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1977. 9 с.

- ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2009. 19 с.
- Дорожкин А. С., Гончаров С. М. Огнезащита строительных конструкций // Судостроение. 2018. № 2 (839). С. 58–62.
- Кухарев В. Структурно-модифицированная древесина // Наноиндустрия. 2015. № 6 (60). С. 76–83.
- Оптимизация рецептуры огнезащитного пропиточного состава для древесины / М. Н. Тухбатулин, А. Е. Шкуро, Т. В. Якубова, М. А. Красильникова // Деревообрабатывающая промышленность. 2025. № 3. С. 30–38.
- Петрова Е. А. Снижение горючести древесины // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 59–61.
- Покровская Е. Н., Портнов Ф. А. Огнебиозащитный состав для древесины с эффективными дымогасящими компонентами // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 106–114.
- Страшинов А. В. Строительство деревянных домов: вековые традиции и современные технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 4 (111). С. 14–16.
- Тухбатулин М. Н., Шкуро А. Е., Якубова Т. В. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на эффективность действия огнезащитных пропиточных растворов для древесины // Системы. Методы. Технологии. 2025. № 4 (68). С. 132–137. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-4-132-137
- Чирков И. А., Кантиева Е. В., Пономаренко Л. В. Обзор строительных материалов из склеенной древесины // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика : матер. Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 17 июня 2021 года. Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г. Ф. Морозова, 2021. С. 379–385. DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_379-385
- El-Dossoki F. I., Gomaa E. A., Hamza O. A. Solvation thermodynamic parameters for sodium dodecyl sulfate (SDS) and sodium lauryl ether sulfate (SLES) surfactants in aqueous and alcoholic-aqueous solvents // SN Applied Sciences. 2019. Vol. 1. Article 879. URL: https://www.academia.edu/77442137/Solvation_thermodynamic_parameters_for_sodium_dodecyl_sulfate_SDS_and_sodium_lauryl_ether_sulfate_SLES_surfactants_in_aqueous_and_alcoholic_aqueous_solvents (accessed 10.02.2026). DOI: 10.1007/s42452-019-0974-6
- Sodium lauryl ether sulfate (SLES) degradation by nitrate-reducing bacteria / A. M. S. Paulo, R. Aydin, M. R. Dimitrov [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. Vol. 101. P. 5163–5173. DOI: 10.1007/s00253-017-8212-x
- Sub-clinical, non-erythematous irritation with an open assay model (washing): Sodium lauryl sulfate (SLS) versus sodium laureth sulfate (SLES) / V. Charbonnier, B. M. Morrison, M. Paye, H. I. Maibach // Food and Chemical Toxicology. 2001. Vol. 39, № 3. P. 279–286. DOI: 10.1016/S0278-6915(00)00132-0

References

- Abdukadirov F. B., Sivenkov A. B., Mukhamedgaliev B. A. Study of the process and modes of combustion of fire-protected wooden structures // All materials. Encyclopedic reference. 2025. № 6. P. 41–46. DOI: 10.31044/1994-6260-2025-0-6-41-46 (In Russ.)
- Akhrarov B. B., Allamuratov M. U., Mukhamedgaliev B. A. Study of combustion of fire-protected wood materials modified with polymer flame retardants // Plastics. 2017. № 1–2. P. 37–39. (In Russ.)
- Akinin N. I., Melnikov N. O., Maksimenko S. A. Issues of reducing the fire hazard of wood // Vector of Science of Togliatti State University. 2013. № 3 (25). P. 28–31. (In Russ.)
- Chirkov I. A., Kantieva E. V., Ponomarenko L. V. Review of building materials from glued wood // Modern machines, equipment and IT solutions for the forestry complex : theory and practice: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, June 17, 2021. Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2021. P. 379–385. DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_379-385 (In Russ.)

- Dorozhkin A. S., Goncharov S. M. Fire protection of building structures // Shipbuilding. 2018. № 2 (839). P. 58–62. (In Russ.)
- El-Dossoki F. I., Goma A. E., Hamza O. A. Solvation thermodynamic parameters for sodium dodecyl sulfate (SDS) and sodium lauryl ether sulfate (SLES) surfactants in aqueous and alcoholic-aqueous solvents // SN Applied Sciences. 2019. Vol. 1. Article 879. URL: https://www.academia.edu/77442137/Solvation_thermodynamic_parameters_for_sodium_dodecyl_sulfate_SDS_and_sodium_lauryl_ether_sulfate_SLES_surfactants_in_aqueous_and_alcoholic_aqueous_solvents (accessed 10.02.2026). DOI: 10.1007/s42452-019-0974-6
- Gazizov A. A., Gazizov A. M., Galiev R. R. Liquid glass and silica powder as a basis for protecting wood from fire // Systems. Methods. Technologies. 2025. № 2 (66). P. 109–114. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-109-114 (In Russ.)
- GOST 3771–74. Reagents. Ammonium dihydrogen orthophosphate Specifications. Moscow : Publishing House of Standards, 1974. 12 p.
- GOST 8429–77. Borax. Specifications. Moscow : Publishing House of Standards, 1977. 9 p.
- GOST R 53292–2009. Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods. Moscow : Standartinform, 2009. 19 p.
- Kukharev V. Structural-modified wood // Nanoindustry. 2015. № 6 (60). P. 76–83. (In Russ.)
- Optimization of the Formulation of a Fire-Retardant Impregnating Composition for Wood / M. N. Tukhbatulin, A. E. Shkuro, T. V. Yakubova, M. A. Krasilnikova // Woodworking Industry. 2025. № 3. P. 30–38. (In Russ.)
- Petrova E. A. Reducing the Flammability of Wood // Construction Materials. 2011. № 11. P. 59–61. (In Russ.)
- Pokrovskaya E. N., Portnov F. A. Fire-retardant composition for wood with effective smoke-extinguishing components // Bulletin of MGSU. 2015. № 10. P. 106–114. (In Russ.)
- Sodium lauryl ether sulfate (SLES) degradation by nitrate-reducing bacteria / A. M. S. Paulo, R. Aydin, M. R. Dimitrov [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. Vol. 101. P. 5163–5173. DOI: 10.1007/s00253-017-8212-x
- Strashnov A. V. Construction of Wooden Houses: Century-Old Traditions and Modern Technologies // Construction Materials, Equipment, and Technologies of the 21st Century. 2008. № 4 (111). P. 14–16. (In Russ.)
- Sub-clinical, non-erythematous irritation with an open assay model (washing): Sodium lauryl sulfate (SLS) versus sodium laureth sulfate (SLES) / V. Charbonnier, B. M. Morrison, M. Paye, H. I. Maibach // Food and Chemical Toxicology. 2001. Vol. 39, № 3. P. 279–286. DOI: 10.1016/S0278-6915(00)00132-0
- Tukhbatulin M. N., Shkuro A. E., Yakubova T. V. Study of the Influence of Surfactants on the Efficiency of Fire-Retardant Impregnating Solutions for Wood // Systems. Methods. Technologies. 2025. № 4 (68). P. 132–137. DOI 10.18324/2077-5415-2025-4-132-137 (In Russ.)

Информация об авторах

М. Н. Тухбатулин – адъюнкт очной формы обучения адъюнктуры;
А. Е. Шкуро – доктор технических наук, доцент;
Т. В. Якубова – кандидат химических наук, доцент.

Information about the authors

M. N. Tukhbatulin – the full-time study adjunct;
A. E. Shkuro – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
T. V. Yakubova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026; принята к публикации 06.03.2026.
The article was submitted 16.02.2026; accepted for publication 06.03.2026.