

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8483

УДК 647.07

Статья

Исследование водопоглощения подложек из древесины твёрдых и мягких пород с защитно-декоративным покрытием

Талых Алексей Александрович

кандидат педагогических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), ata_77@mail.ru

Гаврилова Анна Дмитриевна

студентка, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), annaegorova.2003@mail.ru

Симонова Ирина Витальевна

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), shaina_irina@mail.ru

Получена: 21 марта 2025 / Принята: 22 апреля 2025 / Опубликовано: 11 мая 2025

Аннотация: Исследования, связанные с окончательной обработкой древесины защитно-декоративными материалами, представлены в научных трудах достаточно обширно. Однако вопросы, касающиеся выбора защитно-декоративных покрытий по различным критериям в соответствии с предъявляемыми требованиями для музыкальных инструментов, освещены недостаточно. При выборе защитно-декоративных материалов для струнных музыкальных инструментов, наряду с такими показателями, как скорость отверждения, твёрдость плёнки, износостойкость покрытия, адгезия и др., немаловажное значение имеет показатель влагозащищённости. В статье представлены результаты исследований по определению водопоглощения образцов из древесины ели, сосны, берёзы, а также фанеры, обработанных полиуретановым, акриловым, нитроцеллюлозным лаками, маслом-воском, морской солью, активированным углём (с вазелиновым маслом), которые могут быть применены при изготовлении деталей и узлов струнных народных музыкальных инструментов. Данные породы древесины и вид древесного материала для образцов выбраны не случайно. Корпуса струнных музыкальных инструментов могут быть изготовлены из сосны, для верхней деки используется ель, для нижней деки применяется сосна (иногда фанера),

для струнодержателей — твёрдые породы древесины (например, берёза). Целью исследования является определение оптимального варианта защитно-декоративных покрытий для струнных народных музыкальных инструментов по критериям «водопоглощение — внешний вид». Определение водопоглощения образцов проводилось по ГОСТ 11488-65. Образцы с нанесёнными защитно-декоративными составами взвешивали через 2 ч после начала выдерживания в ванне с дистиллированной водой, а затем через сутки, 2, 4, 7, 12, 20 и 30 суток. По результатам периодических взвешиваний и известной массе образцов в абсолютно сухом состоянии определяли текущую влажность в процессе водопоглощения. Исследование показало, что для всех рассматриваемых пород древесины и древесных материалов оптимален полиуретановый лак. Масло-воск достаточно хорошо защищает древесину от влаги, но данное покрытие требует более частого обновления по сравнению с лаками. Морскую соль как пропитку можно использовать в случае необходимости сохранения текстуры и цвета древесины при достаточно высокой водоотталкивающей способности. Для обеспечения наиболее выраженной текстуры и контрастности древесины с сохранением водоотталкивающих свойств рекомендуется использовать покрытие активированным углём и маслом (например, вазелиновым). Масла для древесины и нетрадиционные способы отделки (активированным углём, морской солью и др.) целесообразно применять при отделке выставочных образцов музыкальных инструментов.

Ключевые слова: водопоглощение древесины; защитно-декоративные покрытия; народные музыкальные инструменты; фанера

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8483

Article

Study of water absorption of hardwood and softwood substrates with protective and decorative coating

Alexey Talykh

*Ph. D. in pedagogy, assistant professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
ata_77@mail.ru*

Anna Gavrilova

Student, Petrozavodsk State University (Russian Federation), annaegorova.2003@mail.ru

Irina Simonova

*Ph. D. in engineering, assistant professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
shaina_irina@mail.ru*

Received: 21 March 2025 / Accepted: 22 April 2025 / Published: 11 May 2025

Abstract: Research related to the final processing of wood with protective and decorative materials is presented in scientific works quite extensively. However, issues related to the selection of protective and decorative coatings according to various criteria in accordance with the requirements for musical instruments are not sufficiently covered. When choosing protective and decorative materials for stringed musical instruments, along with such indicators as curing rate, film hardness, coating wear resistance, adhesion, etc., the moisture resistance indicator is of no small importance. The article presents the results of research on determining the water absorption of samples of spruce, pine, birch wood, as well as plywood treated with polyurethane, acrylic, nitrocellulose varnishes, oil-wax, sea salt, activated carbon (with vaseline oil), which can be used in the manufacture of parts and units of stringed folk musical instruments. These wood species and the type of wood material for the samples were not chosen by chance. The bodies of string musical instruments can be made of pine; spruce is used for the upper deck, pine (sometimes plywood) for the lower deck, and hardwood (e. g. birch) for the tailpieces. The aim of the study was to determine the optimal variant of protective and decorative coatings for string folk musical instruments based on the «water absorption-appearance» criteria. The water absorption of the samples was determined according to All-Union State Standard (GOST) 11488-65. The samples with applied protective and decorative compositions were weighed 2 hours after the start of keeping in a bath with distilled water, and then after 1, 2, 4, 7, 12, 20 and 30 days.

Based on the results of periodic weighing and the known mass of the samples in an absolutely dry state, the current humidity during water absorption was determined. The study showed that polyurethane varnish is optimal for all the considered wood species and wood materials. Oil-wax protects wood from moisture quite well, but this coating requires more frequent renewal compared to varnishes. Sea salt, as an impregnation, can be used if it is necessary to preserve the texture and color of wood with a sufficiently high water-repellent ability. To ensure the most pronounced texture and contrast of wood while maintaining water-repellent properties, it is recommended to use a coating of activated carbon and oil (for example, Vaseline). Wood oils and non-traditional finishing methods (activated carbon, sea salt, etc.) are advisable to use when finishing exhibition samples of musical instruments.

Keywords: water absorption of wood; protective and decorative coatings; folk musical instruments; plywood

1. Введение

Древесина является гигроскопичным материалом, который может не только поглощать, но и отдавать воду. За счёт этого влажность древесины варьируется при изменении относительной влажности и температуры окружающего воздуха [1].

Вследствие пористого строения при непосредственном контакте с капельножидкой влагой древесина способна увеличивать свою влажность. Это свойство древесины называется водопоглощением, которое необходимо учитывать при выборе защитно-декоративного покрытия. Водопоглощение зависит от влажности древесины, и чем она выше, тем меньше жидкости древесина впитывает. Абсолютно сухая древесина в сутки может впитать более 30 % воды [1], [2].

Исследования, проведённые ранее, показывают, что повышение температуры увеличивает скорость проникновения жидкости и даёт возможность в определённых пределах регулировать процесс пропитки. Результаты опытно-экспериментальных работ Е. В. Харук, А. Д. Ломакина и других исследователей показали, что высокотемпературная обработка древесины увеличивает её проницаемость только в нагретом состоянии. После охлаждения древесина вновь становится практически непроницаемой поперёк волокон. Наилучшие результаты получены при нагреве древесины до 120—130 °С. Более высокая температура не только не вызывает дальнейшего увеличения глубины пропитки, но даже приводит к её уменьшению. Кроме того, повышение температуры приводит к снижению прочности древесины. Очень важным фактором, увеличивающим проницаемость древесины при высокой температуре (выше 100 °С), является расплавление при этой температуре смолы [3], [4].

Порода древесины и её строение также оказывают влияние на проницаемость древесины защитно-декоративными составами [2], [5], [6]. Экспериментально было установлено, что с увеличением процентного содержания поздней древесины наблюдается некоторое повышение проникающей способности для сосны, пихты и кедра. Особенно чётко это выражено для сосны: с увеличением ширины годовичных слоёв коэффициент проницаемости резко возрастает [4].

Водопоглощение достаточно интенсивно меняется в зависимости от формы и размеров образца. Это имеет существенное значение для скорости поглощения. Скорость проникновения жидкости в древесину в значительной степени зависит от направления волокон при впитывании. Наибольшая скорость поглощения наблюдается с торцов (вдоль волокон), она во много раз превосходит скорость поглощения поперёк волокон. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе методов и режимов нанесения защитно-декоративных составов, а также определения качества пропитки [1], [2].

Древесина для изготовления изделий с повышенной добавленной стоимостью (музыкальные инструменты, сувенирная продукция, детские развивающие игры и др.) должна быть экологически чистой и качественной (с минимальными пороками). Также для данного вида продукции особое значение приобретает выбор защитно-декоративных

покрытий, где необходима сочетаемость эстетических и защитных (в т. ч. влагозащитных) свойств материалов. Прежде всего, к таким изделиям относятся музыкальные инструменты. Они, как правило, эксплуатируются в помещениях различной степени влажности, а также на открытом воздухе.

На фото 1 представлен струнный щипковый карело-финский народный музыкальный инструмент — кантеле, основными конструктивными элементами которого являются: 1 — корпус, 2 — верхняя дека, 3 — нижняя дека, 4 — струнодержатель.

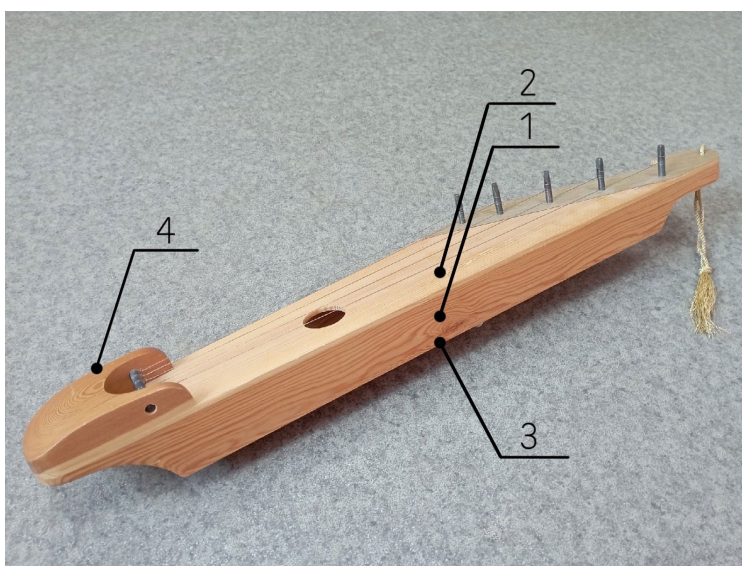


Фото 1. Струнный народный музыкальный инструмент — кантеле [фото авторов]

Photo 1. Stringed folk musical instrument — kantele

Проведённая опытно-экспериментальная работа, а также анализ научных публикаций в области проектирования и изготовления струнных музыкальных инструментов показали, что наиболее приемлемая порода древесины для дек — ель [7]. Для изготовления нижней дека может применяться сосна (фанера). Силовые элементы инструментов (например, струнодержатели) изготавливают из древесины твёрдых лиственных пород (берёзы, клёна, красного дерева и др.) [8].

В качестве защитно-декоративных материалов для деталей и узлов струнных музыкальных инструментов могут быть использованы различного вида лаки, а также масла, воски и пропитки для дерева.

Исследования, связанные с технологиями обработки древесины защитно-декоративными материалами, представлены в научных трудах А. А. Барташевича, В. И. Онегина, Б. М. Рыбина, А. М. Aydin, E. Basri, K. Kılıç A. Mihăilă, Nan Ya и других авторов [4—6], [9—19]. Однако вопросы, связанные с выбором защитно-декоративных покрытий по различным критериям в соответствии с предъявляемыми требованиями для музыкальных инструментов, освещены недостаточно.

В работе представлены результаты исследований по определению водопоглощения массива древесины ели, сосны, берёзы, а также древесного материала — берёзовой фанеры (семислойной) ФК (связующее — карбамидоформальдегидный клей) с нанесёнными защитно-декоративными покрытиями, которые могут быть применены при изготовлении струнных народных музыкальных инструментов.

Объектом исследования выступает процесс водопоглощения древесины и древесных материалов. Предметом исследования является определение водопоглощения образцов из твёрдых и мягких пород древесины и древесных материалов, обработанных защитно-декоративными покрытиями.

Целью исследования является определение оптимального варианта защитно-декоративных покрытий для струнных народных музыкальных инструментов по критериям «водопоглощение — внешний вид».

В соответствии с поставленной целью, выделенными объектом и предметом в ходе исследования решались следующие основные задачи:

- определить показатели водопоглощения (в процентах) для образцов из ели, сосны, берёзы, фанеры, обработанных полиуретановым, акриловым, нитроцеллюлозным лаками, маслом-воском, морской солью, активированным углём (с вазелиновым маслом);
- оценить внешний вид (изменение цвета, контрастности текстуры) древесины образцов после обработки представленными защитно-декоративными материалами;
- выявить оптимальные варианты защитно-декоративных покрытий по критериям «водопоглощение — внешний вид» для деталей (корпусов, дек и струнодержателей) струнных народных музыкальных инструментов.

2. Материалы и методы

Определение водопоглощения производилось по ГОСТ 11488-65.

Сушка пиломатериалов (досок) из древесины ели, сосны, берёзы, из которых в дальнейшем были изготовлены образцы, производилась естественным путём в два этапа.

- 1-й этап: естественная сушка в складском помещении до влажности древесины 20—22 % (в течение 8 недель);
- 2-й этап: естественная сушка при комнатной температуре до параметров влажности 10—12 % (3 недели). Данное значение влажности древесины является оптимальным для изготовления конструктивных элементов музыкальных инструментов.

Для проведения опытно-экспериментальной работы по определению водопоглощения были изготовлены образцы из массива древесины ели, сосны, берёзы и древесного материала — фанеры размером 30 × 30 × 10 мм без видимых пороков (фото 2).

Образцы покрывались различными защитно-декоративными составами: акриловым, полиуретановым и нитроцеллюлозным лаками, маслом-воском, активированным углём (с вазелином), а также морской солью. Нанесение покрытий проводилось в два слоя с промежуточным шлифованием между слоями с целью удаления ворса.

Покрытие лаками осуществлялось вдоль волокон при помощи губки. После нанесения первого слоя проводились сушка (продолжительностью не менее 3—4 ч), последующее шлифование, а затем наносился второй слой лака.



Фото 2. Образцы для исследования (из древесины ели, сосны, берёзы, фанеры)
[фото авторов]

Photo 2. Samples for research (from spruce, pine, birch, plywood)

Масло-воск для дерева втиралось ветошью из хлопчатобумажной ткани равномерно тонким слоем по всей поверхности обрабатываемой площади образца. Излишки масла удалялись с помощью салфетки.

В случае использования активированного угля он был измельчён до фракции порошка, высыпан на поверхность образца и затем втирался в поры древесины. После этого поверхность шлифовалась и наносилось вазелиновое масло (сухой способ). Возможен вариант предварительного смешения угля и масла с последующим нанесением двухкомпонентного состава на поверхность древесины (мокрый способ) и окончательным шлифованием.

При способе нанесения покрытия морской солью её разводили в кипящей воде из расчёта 1 кг на 5 л с добавлением 50 г борной кислоты и покрывали этой смесью поверхности образцов при помощи кисти.

После полного высыхания защитно-декоративных покрытий образцы взвешивались в абсолютно сухом состоянии, а затем выдерживались в ванне с дистиллированной водой (фото 3).



Фото 3. Образцы, помещённые в ванну с дистиллированной водой [фото авторов]

Photo 3. Samples placed in a bath of distilled water

Образцы взвешивали через 2 ч после начала выдерживания, а затем через сутки, 2, 4, 7, 12, 20 и 30 суток. Взвешивание производилось на электронных весах. По результатам периодических взвешиваний и известной массе образцов в абсолютно сухом состоянии определяли текущую влажность в процессе водопоглощения по формуле

$$V = \frac{m1 - m}{m} * 100\%,$$

где V — водопоглощение (влажность), %; $m1$ — масса образца после выемки из ванны, г; m — масса абсолютно сухого образца, г.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ Excel.

3. Результаты

На основе полученных данных были построены диаграммы водопоглощения в координатах «влажность древесины — продолжительность выдерживания» (рисунки 1—6). Показателем водопоглощения являются диаграмма и максимальная влажность древесины (в процентах), соответствующая 30-суточному (720 ч) выдерживанию образцов в воде.

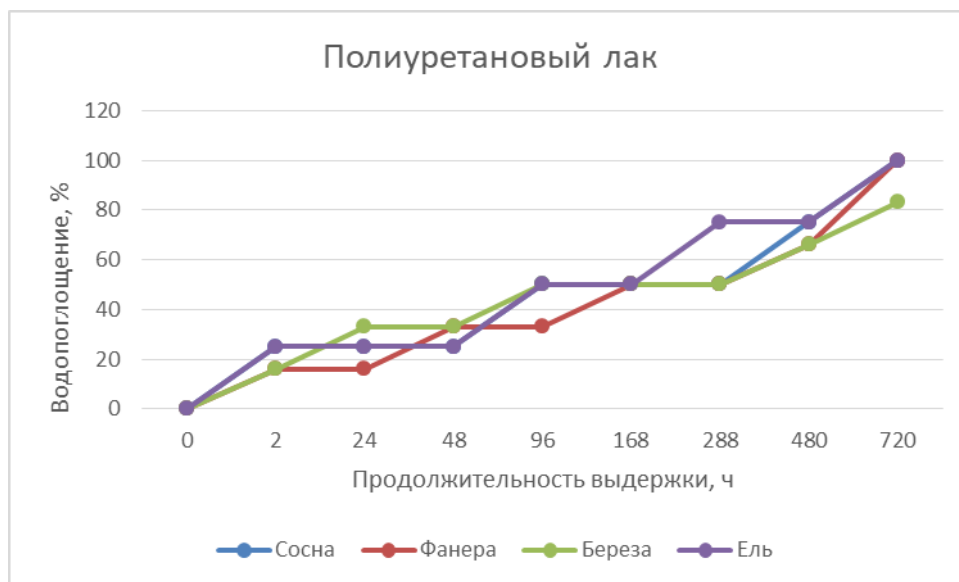


Рисунок 1. Водопоглощение образцов, покрытых полиуретановым лаком [рисунок авторов]

Figure 1. Water absorption of samples coated with polyurethane varnish

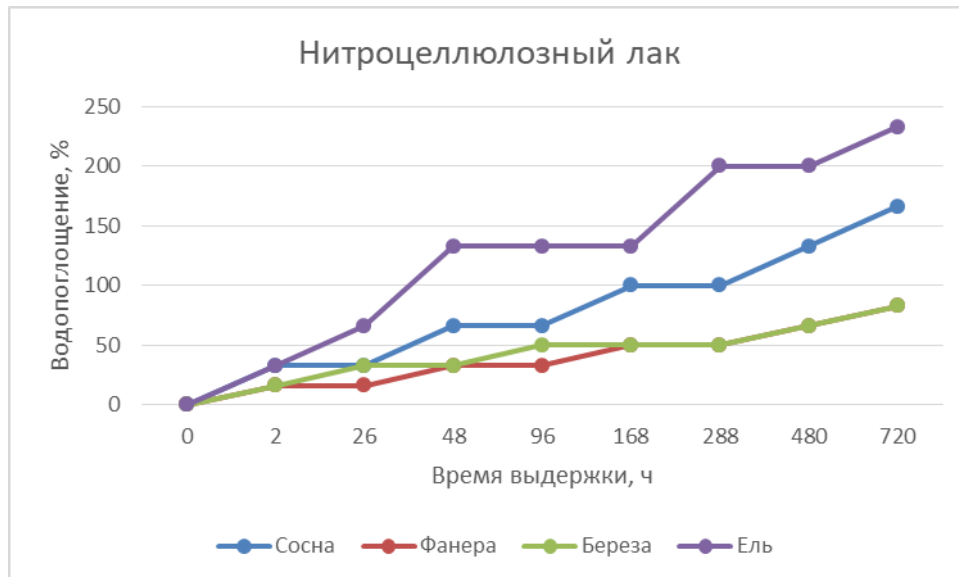


Рисунок 2. Водопоглощение образцов, покрытых нитроцеллюлозным лаком [рисунок авторов]

Figure 2. Water absorption of samples coated with nitrocellulose varnish

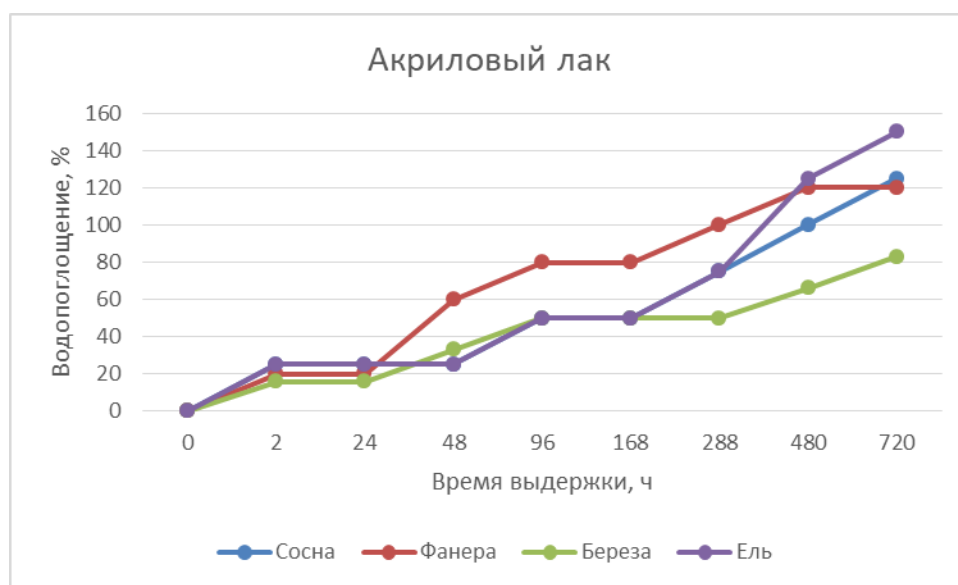


Рисунок 3. Водопоглощение образцов, покрытых акриловым лаком [рисунок авторов]

Figure 3. Water absorption of samples coated with acrylic varnish

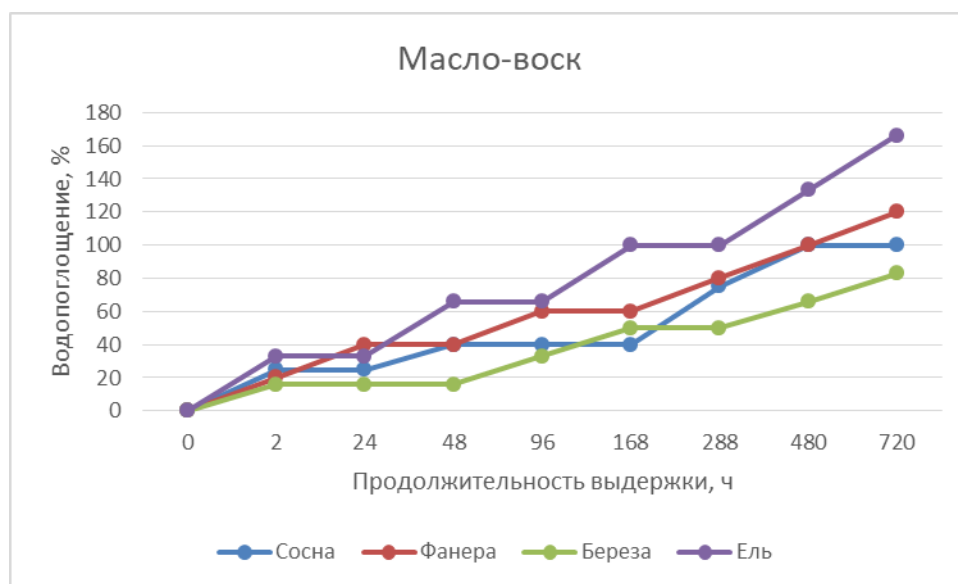


Рисунок 4. Водопоглощение образцов, обработанных маслом-воском [рисунок авторов]

Figure 4. Water absorption of samples treated with oil-wax

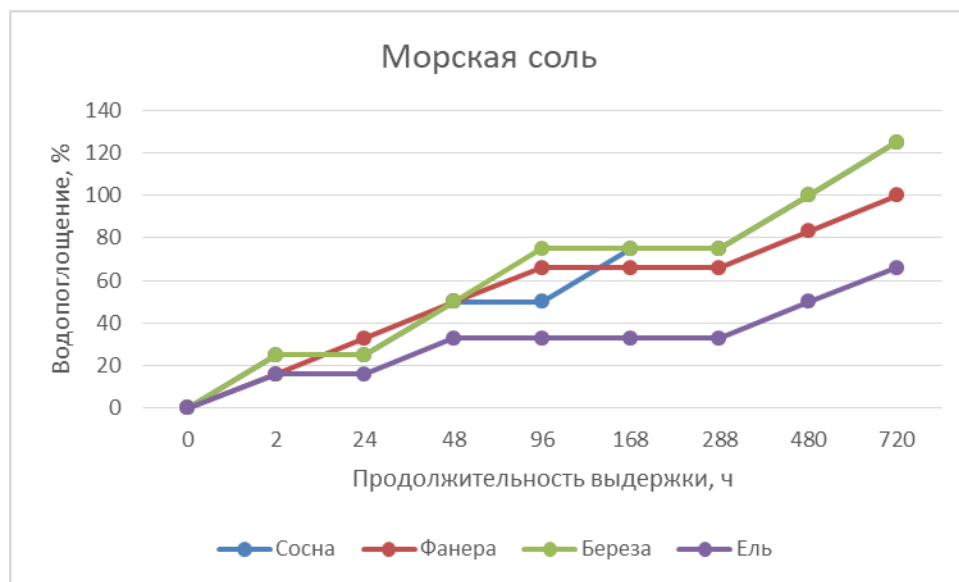


Рисунок 5. Водопоглощение образцов, обработанных морской солью [рисунок авторов]

Figure 5. Water absorption of samples treated with sea salt

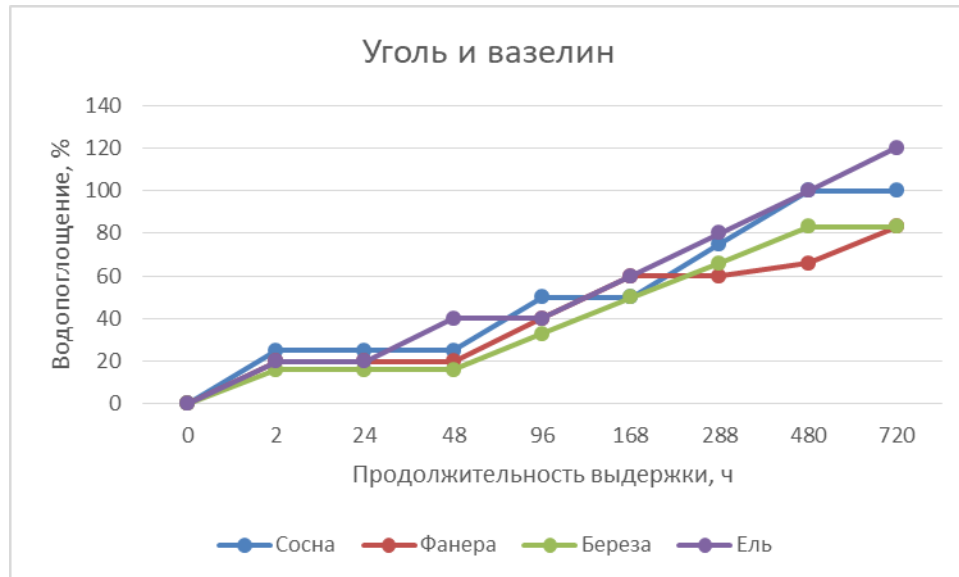


Рисунок 6. Водопоглощение образцов, обработанных углём и вазелином [рисунок авторов]

Figure 6. Water absorption of samples treated with coal and vaseline

Анализ представленных выше диаграмм показывает, что наиболее приемлемый вариант для древесины ели — это покрытие солью (водопоглощение 62 %), для сосны — полиуретановый лак и соль (75 %). Древесина берёзы показала примерно одинаковый

процент водопоглощения для всех видов покрытий (около 80 %), кроме обработки морской солью (125 %). Наилучший показатель для фанеры — нитроцеллюлозный лак (50 %). Для всех рассматриваемых пород древесины и древесных материалов оптимален полиуретановый лак.

4. Обсуждение и заключение

Используемые в экспериментальной работе защитно-декоративные покрытия условно разделены на два вида. Это традиционные современные покрытия лаками и маслами для древесины, широко используемые на производстве и в быту, и нетрадиционные способы обработки: активированным углём и морской солью.

Среди основных особенностей полиуретанового лака следует отметить, что он равномерно распределяется по древесине, хорошо проникает в поры, создавая при этом тонкую и прочную плёнку. Цвет древесины после лакирования без видимых изменений. Полиуретан более эластичен, это предотвратило растрескивание плёнки. Данный лак не «состаривается», его качества не ухудшаются со временем. Однако полиуретановые лаки сложнее в применении, имеют жёлтый оттенок (но не такой выраженный, как у нитролаков, со временем желтеют не так сильно) и меньший сухой остаток по сравнению с полиэфирными лаками. Среди достоинств следует отметить также большую химическую и механическую стойкость по сравнению с нитролаками, относительную простоту применения (по сравнению с полиэфирными лаками), хорошую адгезию, эластичность и меньшее (по сравнению с акриловыми лаками) время полной полимеризации [20].

Нитроцеллюлоза (НЦ) до конца не высыхает, она менее жёсткая и не стягивает дерево в отличие от других покрытий, что очень хорошо отражается на резонансе инструмента. Хотя для звука это плюс, для надёжности это минус. К недостаткам использования лака НЦ можно отнести резкий запах растворителя. Нитролак склонен к пожелтению, растрескиванию. Покрытие не устойчиво химически, что усложняет уход за ним [20]. По результатам исследований нитролак показал низкий уровень водопоглощения для фанеры и берёзы.

Акриловый лак обычно используют для покрытия электрогитар. Акрил хорошо впитывается в древесину и даёт эластичную тонкую плёнку. Акриловый лак не имеет цвета, он абсолютно прозрачен (в отличие от нитроцеллюлозных и полиуретановых лаков). Однако основной недостаток данного лака в том, что полная полимеризация занимает около двух месяцев. Во время нанесения покрытия необходимо обращать внимание на присутствие пыли в помещении, наличие которой крайне не приветствуется [20]. По критерию «водопоглощение» акриловый лак сопоставим с покрытием маслом-воском.

Нанесённое на образцы масло-воск подчеркнуло текстуру древесины, придало блеск деревянным поверхностям. Масло-воск достаточно хорошо защищает древесину от пересыхания, влаги и грязи, что значительно «продлевает жизнь» музыкальным

инструментам. Однако такое покрытие требует более частого обновления по сравнению с лаками.

В настоящее время существует большой ассортимент экологически чистых масел для древесины: минеральное, тиковое, тунговое, льняное, лимонное и др. Лимонное масло предназначено специально для обработки деревянных поверхностей струнных музыкальных инструментов (например, гитар). Однако все они уступают лакам по твёрдости и износостойкости покрытий.

В случае покрытия активированным углём угольная пыль попадает в поры древесины и в результате получается контрастно-выраженная текстура. Водопоглощение сопоставимо с показателями при обработке морской солью.

При обработке морской солью анализ экспериментальных данных показал примерно одинаковый показатель водопоглощения, что и традиционными лаками (80—120 %). Это говорит о том, что представленный вид обработки может быть применён с целью необходимости сохранения первоначального цвета и текстуры древесины с достаточно высокой степенью влагостойкости.

Таким образом, проведённое исследование позволило сделать следующие выводы:

1. При выборе защитно-декоративных материалов для корпусов, дек и силовых элементов струнных музыкальных инструментов, наряду с такими показателями, как скорость отверждения, твёрдость плёнки, износостойкость покрытия, адгезия и др., немаловажное значение имеет показатель влагозащищённости.

2. С целью защиты музыкальных инструментов от влаги наиболее приемлемым вариантом традиционной защитно-декоративной отделки для всех рассматриваемых пород древесины и древесных материалов выступает полиуретановый лак.

3. В связи с достаточно высокой экологичностью масло-воск может быть применено на детских музыкальных инструментах. При этом такое покрытие достаточно хорошо защищает от влажности, но чаще требует обновления по сравнению с лаками.

4. Несмотря на то что покрытие морской солью служит, прежде всего, для защиты древесины от гнили и грибковых поражений, целесообразно использовать данный вид покрытия также и в случае необходимости сохранения текстуры и цвета древесины при достаточно высокой водоотталкивающей способности.

5. Для обеспечения наиболее выраженной текстуры и контрастности древесины с сохранением водоотталкивающих свойств рекомендуется использовать покрытие активированным углём и маслом (например, вазелиновым).

6. Масла, воски и пропитки для древесины могут найти своё применение при отделке выставочных образцов музыкальных инструментов, а также при изготовлении их уменьшенных сувенирных копий.

Представленные рекомендации могут стать основой для дальнейших научных исследований в области выбора защитно-декоративных материалов для музыкальных инструментов.

Список литературы

1. Влагостойкость древесины. URL: <http://www.redwood.ru/Page486.html> (дата обращения: 17.03.2025). Текст: электронный.
2. Влажность древесины. URL: <http://www.drevesinas.ru/woodstructura/humidity/7.html> (дата обращения: 17.03.2025). Текст: электронный.
3. Харук Е. В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. Новосибирск: Наука, 1976. 190 с.
4. Ломакин А. Д. Глубокая пропитка древесины средствами защиты от биоразрушения и возгорания // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 72—74.
5. Дмитренков А. И., Никулин С. С., Никулина Н. С. Исследование процесса пропитки древесины берёзы отработанным растительным маслом // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 2 (38). С. 161—168. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/16.
6. Платонов А. Д. Водопоглощение древесины сосны, повреждённой пожаром // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 4 (24). С. 179—186. DOI: 10.12737/23455.
7. Федюков В. И. Состояние и перспективы отбора, целевого использования и выращивания резонансной древесины в лесах России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 5. С. 142—156.
8. Бендас Л. Л., Кузнецов И. А. Производство и ремонт щипковых музыкальных инструментов. М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1983. 288 с.
9. Онегин В. И. Свойства древесины, учитываемые при формировании защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов // Лесной журнал. 2015. № 6. С. 116—125.
10. Extractives of *muirapiranga* (*Brosimum* sp.) and its effects on the vibrational properties of wood / K. Minato, Y. Konaka, I. Bremaud [et al.] // Journal of Wood Science. 2010. Vol. 56, no. 1. P. 41—46. DOI: 10.1007/s10086-009-1051-3.
11. Chernenko V. A. Analysis of the existing technology of wood impregnation by different polymeric compositions // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. No. 7 (58). P. 32—52. DOI: 10.18720/CUBS.58.3.
12. Thermal characterization and rheological behavior of some varnishes and paints used for wood protection / A. Mihăilă, M. Danu, C. Ibănescu [et al.] // International Journal of Environmental Science and Technology. 2022. Vol. 19, no. 7. P. 6299—6314. DOI: 10.1007/s13762-021-03579-6.
13. Durability and wettability of varnishes on the modified and aged surfaces of short rotation teak wood / E. Basri, R. Martha, R. Damayanti [et al.] // Pigment & Resin Technology. 2022. DOI: 10.1108/prt-09-2022-0110.
14. Aytin A. M., Çakıcıer N. Weathering's effect on color and roughness in some heat-treated wood species with modified water-based varnish // BioResources. 2022. Vol. 17, no. 4. P. 6358—6376. DOI: 10.15376/biores.17.4.6358-6376.
15. Han Ya, Yan X, Tao Yu. Effect of Number of Impregnations of *Microberlinia* sp with Microcapsule Emulsion on the Performance of Self-Repairing Coatings on Wood Surfaces // Coatings. 2022. Vol. 12, no. 7. P. 989. DOI: 10.3390/coatings12070989.
16. Wood impregnation in relation to its mechanisms and properties enhancement / S. Augustina, W. Dwianto, I. Wahyudi [et al.] // BioResources. 2023. Vol. 18, no. 2. DOI: 10.15376/biores.-18.2.augustina.
17. Kol H. Ş., Çayır B. The effects of increasing preservative uptake by microwave pre-treatment on the microstructure and mechanical properties of Oriental spruce wood // Wood Material

Science and Engineering. 2023. Vol. 18, no. 2. P. 732—738. DOI: 10.1080/17480272.2022.-2077656.

18. Characterizing surface adhesion-related chemical properties of copper azole and disodium octaborate tetrahydrate-impregnated *Eucalyptus grandis* wood / A. A. Alade, Z. Naghizadeh, C. B. Wessels [et al.] // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2023. Vol. 37, no. 15. P. 2261—2284. DOI: 10.1080/01694243.2022.2125208.
19. Kılıç K., Söğütü C. Color Change Analysis of Wood Materials Treated with Different Varnishes: A Comparative Study // *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*. 2024. Vol. 24, no. 1. P. 59—73. DOI: 10.17475/kastorman.1460453.
20. Талых А. А., Гаврилова А. Д., Шишигин Д. А. О выборе защитно-декоративных покрытий для отделки корпусов и дек струнных музыкальных инструментов из древесины // *Технология органических веществ: Материалы 88-й научно-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с междунар. участием)*. Минск, 2024. С. 403—406.

References

1. Wood moisture resistance. Available at: <http://www.redwood.ru/Page486.html> (accessed: 17.03.2025). Text. Image: electronic. (In Russ.)
2. Wood moisture. Available at: <http://www.drevesinas.ru/woodstructura/humidity/7.html> (accessed: 17.03.2025). Text. Image: electronic. (In Russ.)
3. Haruk E. V. *Permeability of wood by gases and liquids*. Novosibirsk, Nauka, 1976. 190 p. (In Russ.)
4. Lomakin A. D. Deep impregnation of wood with means of protection against biodegradation and fire. *Construction materials*, 2012, no. 6, pp. 72—74. (In Russ.)
5. Dmitrenkov A. I., Nikulin S. S., Nikulina N. S. Study of the process of impregnation of birch wood with waste vegetable oil. *Forestry journal*, 2020, vol. 10, no. 2 (38), pp. 161—168. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/16. (In Russ.)
6. Platonov A. D. Water absorption of pine wood damaged by fire. *Forestry journal*, 2016, vol. 6, no. 4 (24), pp. 179—186. doi: 10.12737/23455. (In Russ.)
7. Fedukov V. I. Status and prospects of selection, targeted use and cultivation of resonant wood in the forests of Russia. *News of higher educational institutions. Forestry magazine*, 2016, no. 5, pp. 142—156. (In Russ.)
8. Bendas L. L., Kuznetsov I. A. *Production and repair of plucked musical instruments*. Moscow, Light and food industry, 1983. 288 p. (In Russ.)
9. Onegin V. I. Svojstva drevesiny, uchityvaemye pri formirovanii zashchitno-dekorativnyh pokrytij drevesiny i drevesnyh materialov. *Lesnoj zhurnal*, 2015, no. 6, pp. 116—125. (In Russ.)
10. Minato K., Konaka Y., Bremaud I. [et al.]. Extractives of *muirapiranga* (*Brosimum* sp.) and its effects on the vibrational properties of wood. *Journal of Wood Science*, 2010, vol. 56, no. 1, pp. 41—46. doi: 10.1007/s10086-009-1051-3.
11. Chernenko V. A. Analysis of the existing technology of wood impregnation by different polymeric compositions. *Construction of Unique Buildings and Structure*, 2017, no. 7 (58), pp. 32—52. doi: 10.18720/CUBS.58.3.
12. Mihăilă A., Danu M., Ibănescu C. [et al.]. Thermal characterization and rheological behavior of some varnishes and paints used for wood protection. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022, vol. 19, no. 7, pp. 6299—6314. doi: 10.1007/s13762-021-03579-6.

13. Basri E., Martha R., Damayanti R. [et al.]. Durability and wettability of varnishes on the modified and aged surfaces of short rotation teak wood. *Pigment & Resin Technology*, 2022. doi: 10.1108/prt-09-2022-0110.
14. Aytin A. M., Çakıcıer N. Weathering's effect on color and roughness in some heat-treated wood species with modified water-based varnish. *BioResources*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 6358—6376. doi: 10.15376/biores.17.4.6358-6376.
15. Han Ya, Yan X, Tao Yu. Effect of Number of Impregnations of Microberlinla sp with Microcapsule Emulsion on the Performance of Self-Repairing Coatings on Wood Surfaces. *Coatings*, 2022, vol. 12, no. 7, p. 989. doi: 10.3390/coatings12070989.
16. Augustina S., Dwianto W., Wahyudi I. [et al.]. Wood impregnation in relation to its mechanisms and properties enhancement. *BioResources*, 2023, vol. 18, no. 2. doi: 10.15376/biores.-18.2.augustina.
17. Kol H. Ş., Çayır B. The effects of increasing preservative uptake by microwave pre-treatment on the microstructure and mechanical properties of Oriental spruce wood. *Wood Material Science and Engineering*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 732—738. DOI: 10.1080/17480272.2022.-2077656.
18. Alade A. A., Naghizadeh Z., Wessels C. B. [et al.]. Characterizing surface adhesion-related chemical properties of copper azole and disodium octaborate tetrahydrate-impregnated Eucalyptus grandis wood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2023, vol. 37, no. 15, pp. 2261—2284. doi: 10.1080/01694243.2022.2125208.
19. Kılıç K., Söğütlü C. Color Change Analysis of Wood Materials Treated with Different Varnishes: A Comparative Study. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 2024, vol. 24, no. 1, pp. 59—73. doi: 10.17475/kastorman.1460453.
20. Talykh A. A., Gavrilova A. D., Shishigin D. A. On the selection of protective and decorative coatings for finishing the bodies and decks of stringed musical instruments made of wood. *Technology of organic substances: Proceedings of the 88th scientific and technical. conf. of faculty, research staff and postgraduate students (with international participation)*. Minsk, 2024, pp. 403—406. (In Russ.)