

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS**EDN: WVTYKA****ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЯЗКОСТИ КЛЕЯ С НАПОЛНИТЕЛЕМ И БЕЗ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ КЛЕЯ В ЛУЩЕНЫЙ ШПОН ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ**

Научная статья

Бегункова Н.О.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-5069-9604;¹ Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (natali-beg[at]mail.ru)

Предложена: 07.05.2026; Принята: 07.07.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

Фанера является эффективным конструкционным материалом для использования в строительстве. Основным конструктивным элементом фанеры, определяющим ее прочность, — лущеный шпон. Получаемый в производстве шпон имеет трещины, пустоты, обусловленные пористой структурой древесины, чередующиеся слои ранней и поздней древесины и другие дефекты. В конечном итоге это ведет к снижению возможностей фанеры как конструкционного материала. Ослабить влияние дефектов, например, трещин, можно, изменяя их размеры путем заполнения их клеем. Уменьшить рост себестоимости фанеры можно за счет применения наполнителей для клея, что не должно способствовать снижению прочности фанеры. В статье исследуется влияние вязкости клея с наполнителем (древесной муки с мелом) и без него на глубину проникновения клея в древесину лущеного шпона из лиственницы. Экспериментально получена сравнительная количественная оценка глубины проникновения клея с наполнителем и без него в древесину шпона из лиственницы. Исследования показали, что применение в фенолоформальдегидных клеях в качестве наполнителя древесной муки с мелом существенно ограничивает проникновение клеевой массы в древесину шпона. Поэтому для заполнения таких клеев, предназначенных для производства конструкционной фанеры, не рекомендуется использовать в качестве наполнителя древесную муку с мелом.

Ключевые слова: фанера, лущеный шпон, фенолоформальдегидный клей, наполнитель, проницаемость.**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE ADHESIVE VISCOSITY WITH AND WITHOUT FILLER ON THE PENETRATION DEPTH OF ADHESIVES INTO PEELED LARCH VENEER**

Research article

Begunkova N.O.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-5069-9604;¹ Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (natali-beg[at]mail.ru)

Suggested: 07.05.2026; Accepted: 07.07.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

Plywood is an effective structural material for use in construction. The basic structural element of plywood, determining its strength, is the peeled veneer. The veneer obtained in production contains cracks, voids caused by the wood's porous structure, alternating layers of early and latewood, and other defects. Ultimately, this reduces the plywood's performance as a structural material. The impact of defects, such as cracks, can be mitigated by altering their size by filling them with adhesive. The use of fillers in the adhesive can reduce the cost of plywood, without reducing its strength. The article researches the influence of the adhesive viscosity with and without filler (wood flour with chalk) on the penetration depth of adhesives into peeled larch veneer. A comparative quantitative assessment of the penetration depth of adhesives with and without filler into larch veneer was obtained experimentally. The researches have shown that using wood flour with chalk as a filler in phenol-formaldehyde adhesives significantly limits the penetration of the adhesive mass into the veneer. Therefore, it is not recommended to use wood flour with chalk as a filler in such adhesives intended for the production of structural plywood.

Keywords: plywood, peeled veneer, phenol-formaldehyde adhesive, filler, permeability.**Введение**

Фанера используется в различных отраслях промышленности. Она является одним из наиболее технологичных и эффективных конструкционных материалов для использования в строительстве. Например, в деревянном домостроении, при изготовлении товарных железнодорожных вагонов, кузовов автомобилей и контейнеров. Однако эффективность применения фанеры в той или иной сфере определяется не только ее прочностью, но и себестоимостью. Известно, что существенную долю в себестоимости фанеры составляет стоимость клея. Поэтому вопрос использования наполнителей для уменьшения расхода клея является достаточно актуальным. И здесь применение наполнителей не должно способствовать уменьшению прочности фанеры.

Наличие в шпоне трещин, пустот, обусловленных пористой структурой древесины, чередующихся слоев ранней и поздней древесины и других дефектов служит источником возмущений поля напряжений и деформаций в фанере (рис. 1).

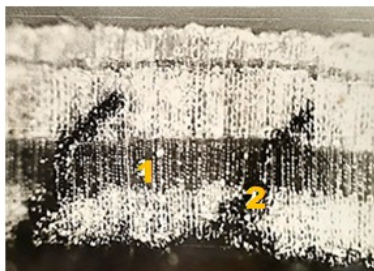


Рисунок 1 - Поперечный срез лущеного шпона из древесины лиственницы:
1 – поздняя древесина годовичного слоя; 2 – трещина

Можно считать, что дефекты, нарушающие однородность древесины, существенно будут влиять и на прочность фанеры. Из теории разрушения хрупких твердых тел с трещиной известно: чем меньше величина трещин, тем выше прочность материала. Тогда ослабить влияние трещин можно за счет изменения их размеров путем заполнения трещин клеем, который в данном случае выступает как средство изменения их геометрических размеров, создающее однородную структуру древесина-клей. Клей при этом должен обладать высокими адгезионными и когезионными свойствами. При заполнении клеем дефектов древесины создается однородная структура материала, что способствует уменьшению локальных напряжений, вызванных неоднородностью материала. Установлено [1], [2], что заполнение микротрещин березового шпона клеем повышает прочностные показатели лущеного шпона и фанеры в 1,3–1,5 раза при определенном сочетании технологических факторов. Поэтому применение наполнителей не должно существенно уменьшать степень заполнения дефектов в древесине лущеного шпона, образовавшихся в процессе его производства.

Основное назначение наполнителей при склеивании фанеры – доведение клея до нужной вязкости и уменьшение его стоимости. Последнее особенно важно, т. к. снятие локальных напряжений, вызванных дефектами шпона, неизбежно связано с увеличением расхода клея, который, заполняя трещины, макро- и микронеровности поверхности, обеспечивает получение более однородной структуры материала. Поэтому обоснованное уменьшение расхода смолы за счет введения наполнителей позволит снизить себестоимость единицы продукции. Известно, что введение наполнителя может изменять технологические свойства клеев, не снижая прочности клеевых соединений, а в некоторых случаях даже повышая ее. Влияние типа и количества наполнителя на прочность адгезионно-когезионных связей отмечается в различных работах [3], [4], [5], [6], [7]. Критерием выбора наполнителя в нашем случае может быть сохранение примерно одинаковой степени заполнения дефектов в древесине лущеного шпона, образовавшихся в процессе его производства, как клеем с наполнителем, так и без него.

Для смол в производстве фанеры используются различные наполнители: для фенолоформальдегидных смол СФЖ-3013 и СФЖ-3024 рекомендуются древесная мука с мелкодисперсным мелом.

Цель работы — сравнительная оценка глубины проникновения в древесину шпона клея с наполнителем и без него.

Задачи исследования:

- разработать методику определения проницаемости шпона клеем;
- определить глубину проникновения клея с наполнителем и без него в древесину лиственничного шпона;
- дать рекомендации о целесообразности использования в производстве конструкционной фанеры наполнителя, состоящего из древесной муки с мелом.

Методы и принципы исследования

В данном опыте прежде всего интересовало влияние наполнителя на глубину проникновения клеевой массы в шпон. Для исследования была принята смола СФЖ-3013 по ГОСТ 20907. В качестве наполнителя – древесная мука марки 140 влажностью не более 8% по ГОСТ 16361 и мелкодисперсный мел по ГОСТ 8253. Чтобы оценить влияние наполнителя на глубину проникновения клея в шпон, опыты ставились для клея на чистой смоле и для клея с древесной мукой и мелом. В экспериментах древесная мука добавлялась в количестве 2 мас. ч., а мел — 10 мас. ч. Сравнимость данных обеспечивалась установлением одинаковой вязкости для клея на чистой смоле и клея с наполнителем.

Для экспериментов отбирался шпон с тангенциальной поверхностью, т. к. анализ литературных источников [8], [9] показывает, что проницаемость древесины существенно зависит от структурных направлений и других факторов: плотности, содержания поздней древесины, ширины годичных слоев, влажности. Известно, что капиллярная система древесины, проводящая жидкости под давлением, крайне изменчива и неопределенна, особенно при пропитке поперек волокон [9]. Поэтому отбору образцов было уделено особое внимание.

Изучение процесса проникновения клея проводилось в направлении от оборотной стороны шпона к лицевой. Экспериментальные исследования показали [10], что процесс проникновения клея от лицевой к оборотной стороне носит такой же характер, как и обратный процесс. Обычно наружная поверхность листа фанеры является лицевой поверхностью шпона. Обратная сторона более разрушена. Поэтому изучение проницаемости в направлении от оборотной к лицевой стороне шпона является более целесообразным.

Исследование влияния наполнителей на глубину проникновения смолы в шпон проводилось при «неограниченном» расходе клея. Для этого использовали стандартный прибор конструкции Баженова В.А., Харук Е.В., Клещева Т.И. [8], [11], применяемый для определения проницаемости древесины жидкостями и газами.

Образцы изготавливались цилиндрической формы диаметром 48 мм из шпона толщиной 2,2 мм среднего качества при помощи специально изготовленной закаленной цилиндрической насечки. Рабочая площадь образцов определялась конструкцией прибора и составляла 12,6 см². Во избежание утечки смолы через торцы образца, боковая поверхность и кромка по кольцу обжата покрывалась эпоксидной смолой. Для контрастности смола подкрашивалась феноловым красным индикатором. Давление создавалось с помощью инертного газа и регулировалось редуктором. Через назначенное время давление снижали до атмосферного, извлекали образец из прибора и снимали излишки смолы с поверхности образца.

Образцы для определения проницаемости шпона отбирались с тангенциальной поверхностью. Образец для измерения имел размеры 20x10x2,2 мм. Его закрепляли в зажиме и помещали в микроскоп. На одном образце в среднем делали примерно 20 измерений.

Критерием проницаемости служила глубина проникновения клея в шпон, замеренная на поперечном разрезе образца по площадкам между трещин $h_{м.т.}$ (рис. 2).

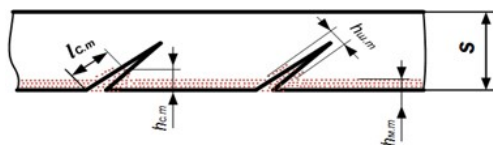


Рисунок 2 - Схема измерения параметров проникновения клея в шпон

При определении глубины проникновения клея без наполнителя в шпон основными постоянными факторами являлись: влажность шпона — $8 \pm 2\%$, время выдержки под давлением — 120 с, марка клея — СФЖ-3013, порода древесины — лиственница. Переменные факторы и условия проведения экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Переменные факторы проведения экспериментов

Наименование фактора	Значения фактора	Число опытов	Число повторений опытов	Число результатов одного опыта	Общее число результатов
Вязкость, с по ВЗ-246	60; 100; 220	12	5	20	1200
Давление, МПа	0,6; 1,0; 1,4; 1,8				

При определении глубины проникновения клея с наполнителем постоянные факторы приняты: влажность шпона — $8 \pm 2\%$, время выдержки под давлением — 120 с, марка клея — СФЖ-3013, порода древесины — лиственница, наполнитель — древесная мука — 2 мас. ч. и мел — 10 мас. ч. Переменные факторы и условия проведения экспериментов отражены в табл. 1.

Выходной параметр экспериментов — глубина проникновения клея в шпон ($h_{м.т.}$), мм.

Основные результаты

Некоторые результаты экспериментов, отражающие характер влияния наполнителя на глубину проникновения в шпон по площадкам между трещинами, приведены на графиках в табл. 2–3 рис. 3–4.

Таблица 2 - Влияние вязкости клея на глубину проникновения его в шпон при давлении 1,8 МПа

Вязкость, с	Глубина проникновения клея в шпон, мм	
	чистая смола	смола с древесной мухой и мелом
60	0,20	0,10
100	0,19	0,12
220	0,14	0,09

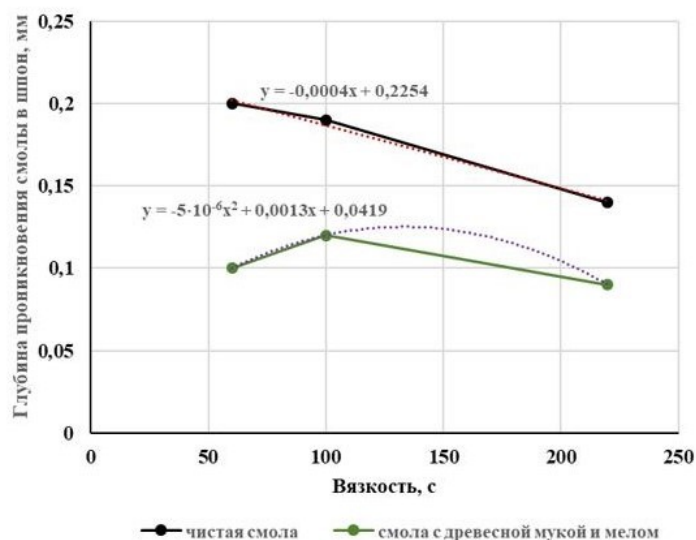


Рисунок 3 - Графики влияния состава наполнителя на глубину проникновения смолы по площадкам между трещинами при давлении 1,8 МПа

Таблица 3 - Влияние вязкости клея на глубину проникновения его в шпон при давлении 0,6 МПа

Вязкость, с	Глубина проникновения клея в шпон, мм	
	чистая смола	смола с древесной мухой и мелом
60	0,13	0,08
100	0,13	0,12
220	0,11	0,09

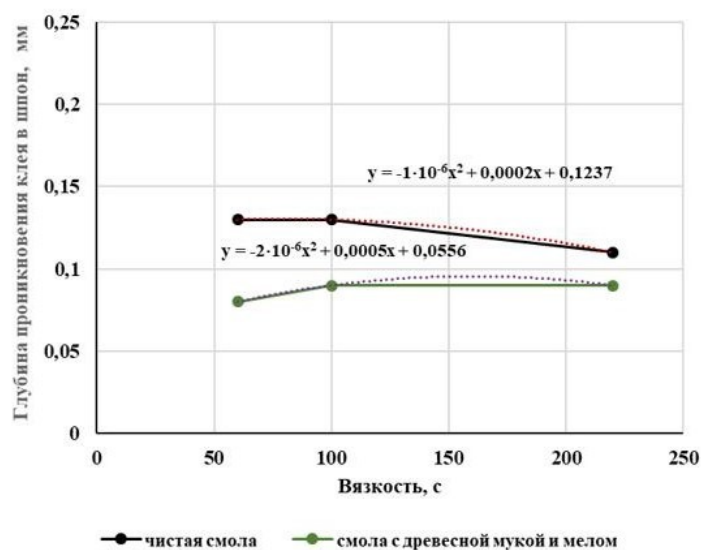


Рисунок 4 - Графики влияния состава наполнителя на глубину проникновения смолы по площадкам между трещинами при давлении 0,6 МПа

На графиках видно, что величина проникновения клея с применением наполнителя (древесная мука с мелом) существенно меньше, чем у клея на чистой смоле. Причем такая тенденция сохраняется при различной величине

давления. При этом также сохраняется тенденция уменьшения глубины проникновения клея в древесину шпона с увеличением его вязкости.

Очевидно, использование в качестве наполнителя древесной муки с мелом способствует заполнению всех возможных путей проникновения клея в древесину (сердцевинные лучи, смоляные ходы, полости трахеид) и тем самым ограничивает дальнейшее проникновение клея в шпон. Это предположение хорошо подтверждается при осмотре правой (лицевой) стороны образцов. На них заметны лишь отдельные точки клея, которые иногда появлялись на образцах при низкой вязкости (60 с по ВЗ-246) и давлении 1,8 и 1,4 МПа (рис. 5). Изучение глубины проникновения клея в шпон ($h_{м.т.}$) на срезах показало, что она при различной вязкости практически не изменяется, а при изменении давления до 1,4 МПа увеличивается и стабилизируется на уровне 0,10–0,11 мм. Возможной причиной такой стабилизации может быть явление, связанное с подсушкой клеевого слоя и соответствующей потерей подвижности клея в результате сорбции влаги древесиной. В работах [1], [10] было установлено, что высокая прочность березовой фанеры обеспечивается при 65–80% заполнения трещин клеем. При этом глубина проникновения клея в шпон ($h_{м.т.}$) также стабилизировалась при давлении 1,4 МПа. Можно предположить, что при данном давлении будет обеспечена максимально возможная степень заполнения трещин клеем с испытываемым наполнителем.



Рисунок 3 - Внешний вид лицевой стороны образцов при использовании в качестве наполнителя древесной муки с мелом

Таким образом, использование в качестве наполнителя древесной муки с мелом не позволяет достичь максимального проникновения клеевой массы в шпон, что в конечном итоге приведет к снижению прочности фанеры. Поэтому, на наш взгляд, необходимо отказаться от использования мела в составе наполнителя и провести соответствующие исследования только с древесной мукой.

Заключение

Экспериментальные исследования показали, что использование в фенолоформальдегидных клеях в качестве наполнителя древесной муки совместно с мелом существенно ограничивает проникновение клеевой массы в древесину шпона, что может отрицательно повлиять на прочность фанеры. Кроме того, мел может вызвать с течением времени снижение прочности клеевого соединения, а также способствует росту внутренних напряжений в клеевом слое [3], [7].

В связи с этим для наполнения фенолоформальдегидных смол, предназначенных для производства конструкционной фанеры, необходимо отказаться от использования мела в составе наполнителя и провести соответствующие исследования только с древесной мукой.

По результатам исследования можно также порекомендовать давление холодной подпрессовки пакетов шпона в фанерном производстве на уровне 1,0–1,4 МПа.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Кириллов А.Н. Конструкционная фанера / А.Н. Кириллов. — Москва: Лесн. пром-сть, 1981. — 112 с.
2. Миронова С.И. Влияние циклического увлажнения на прочность многослойного материала, клееного из шпона / С.И. Миронова, П.С. Коваль, Е.В. Данилов и др. // Инженерный вестник Дона. — 2023. — № 9(105). — С. 379–388. — URL: https://www.ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_96__8_Mironova.pdf_096edda8f7.pdf (дата обращения: 03.03.26).

3. Лукаш А.А. Технология новых клееных материалов: учебное пособие / А.А. Лукаш. — СПб.: Лань, 2022. — 304 с.
4. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций / Л.М. Ковальчук. — Москва: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. — 336 с.
5. Воробьева Д.И. Влияние вязкости клеевой композиции и шероховатости поверхности склеиваемых изделий на глубину проникновения клея в микронеровности поверхности / Д.И. Воробьева, А.В. Орлов, В.В. Шутов и др. // Успехи в химии и химической технологии. — 2023. — Том XXXVII, № 6(268). — С. 36–38. — URL: <https://www.muctr.ru/upload/iblock/adf/y6172xly050gvpx4j4wfrgozqhusgckf.pdf> (дата обращения: 03.03.26).
6. Чернышев О.Н. Наполнители и их влияние на свойства клеевых систем / О.Н. Чернышев, Е.С. Синегубова, С.М. Иржигитова и др. // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды XVII Международного евразийского симпозиума ; под ред. В.Г. Новоселова — Екатеринбург: УГЛУТУ, 2023. — С. 80–84. — URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/12535/1/Der-23_13.pdf (дата обращения: 03.03.26).
7. Вернигорова В.Н. Клеи и склеивание / В.Н. Вернигорова, С.М. Саденко. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 120 с.
8. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник / Б.Н. Уголев. — Москва: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. — 351 с.
9. Леонтьев Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для вузов / Л.Л. Леонтьев. — СПб.: Лань, 2022. — 416 с.
10. Бирюков В.Г. Исследование и разработка технологии склеивания березовой фанеры марки ФСФ из шпона с ложным ядром : дис. ...канд. техн. наук: 05.21.01 : защищена 1976-03-20 : утв. 1976-10-11 / В.Г. Бирюков. — Москва: 1976. — 220 с.
11. Глебов И.Т. Древесиноведение и материаловедение: учебное пособие для вузов / И.Т. Глебов. — СПб.: Лань, 2025. — 212 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kirillov A.N. Konstruktsionnaya fanera [Structural plywood] / A.N. Kirillov. — Moscow: Lesn. prom-st, 1981. — 112 p. [in Russian]
2. Mironova S.I. Vliyanie ciklicheskogo uvlazhneniya na prochnost' mnogoslojnogo materiala, kleenogo iz shpona [The cyclic humidification influence on the laminated veneer lumber strength] / S.I. Mironova, P.S. Koval', E.V. Danilov et al. // Engineering Bulletin of Don. — 2023. — № 9(105). — P. 379–388. — URL: https://www.ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_96__8_Mironova.pdf_096edda8f7.pdf (accessed: 03.03.26). [in Russian]
3. Lukash A.A. Tekhnologiya novy'x kleeny'x materialov: uchebnoe posobie [Technology of new glued materials: manual] / A.A. Lukash. — Spb.: Lan', 2022. — 304 p. [in Russian]
4. Kovalchuk L.M. Proizvodstvo derevyannikh kleenikh konstruktsii [Production of wooden glued structures] / L.M. Kovalchuk. — Moscow: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. — 336 p. [in Russian]
5. Vorobeva D.I. Vliyanie vyazkosti kleevoi kompozitsii i sherokhovatosti poverkhnosti skleivaemikh izdelii na glubinu proniknoveniya kleya v mikronerovnosti poverkhnosti [Influence of the viscosity of the adhesive composition and the surface roughness of the glued products on the depth of penetration of the adhesive into the surface microroughness] / D.I. Vorobeva, A.V. Orlov, V.V. Shutov et al. // Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii [Advances in Chemistry and Chemical Engineering]. — 2023. — Vol. XXXVII, № 6(268). — P. 36–38. — URL: <https://www.muctr.ru/upload/iblock/adf/y6172xly050gvpx4j4wfrgozqhusgckf.pdf> (accessed: 03.03.26). [in Russian]
6. Chernishev O.N. Napolniteli i ikh vliyanie na svoistva kleevikh sistem [Fillers and their influence on the properties of adhesive systems] / O.N. Chernishev, Ye.S. Sinigubova, S.M. Irzhigitova et al. // Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century]: proceedings of the XVII International Eurasian Symposium; edited by V.G. Novoselova — Yekaterinburg: UGLTU, 2023. — P. 80–84. — URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/12535/1/Der-23_13.pdf (accessed: 03.03.26). [in Russian]
7. Vernigorova V.N. Klei i skleivanie [Adhesives and gluing] / V.N. Vernigorova, S.M. Sadenko. — Penza: PGUAS, 2014. — 120 p. [in Russian]
8. Ugolev B.N. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie: uchebnik [Wood science and forest commodity science: textbook] / B.N. Ugolev. — Moscow: GOU VPO MGUL, 2007. — 351 p. [in Russian]
9. Leont'ev L.L. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie: uchebnik dlya vuzov [Wood science and forest commodity science: textbook for universities] / L.L. Leont'ev. — Spb.: Lan', 2022. — 416 p. [in Russian]
10. Biryukov V.G. Issledovanie i razrabotka tekhnologii skleivaniya berezovoi faneri marki FSF iz shpona s lozhnim yadrom [Research and development of technology for gluing birch plywood grade FSF from veneer with a false core] : dis....Candidate of Technical Sciences: 05.21.01 : defense of the thesis 1976-03-20 : approved 1976-10-11 / V.G. Biryukov. — Moscow: 1976. — 220 p. [in Russian]
11. Glebov I.T. Drevesinovedenie i materialovedenie: uchebnoe posobie dlya vuzov [Wood science and materials science: manual for universities] / I.T. Glebov. — Spb.: Lan', 2025. — 212 p. [in Russian]