

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 144–153.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 144–153.

Научная статья

УДК 674.02

DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.016

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БЕРЕЗОВОГО ЛУЩЕНОГО ШПОНА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ НАПОЛЬНЫХ ПЛАНК

А. А. Лукаш¹, А. А. Пыкин², В. А. Романов³, Д. М. Максименко⁴,
О. Н. Чернышев⁵

¹⁻⁴ Брянский государственный инженерно-технологический университет,
Брянск, Россия

⁵ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Андреевич Лукаш,
mr.luckasch@yandex.ru

Аннотация. В статье обоснована возможность изготовления напольных планок из березового лущеного шпона, что обеспечивает снижение сырьевых затрат по сравнению с сырьевыми затратами при производстве паркета из дуба. Эксплуатационные показатели свойств напольных планок из березового лущеного шпона предлагается повысить уплотнением в процессе их склеивания. Для получения фиксированной толщины напольных планок предлагается производить их склеивание с применением дистанционных прокладок, что позволит снизить расход древесины на 25 % за счет припусков на строгание, а применение клея обеспечит стабилизацию толщины. Приведены результаты исследования зависимости прочности при статическом изгибе напольных планок от параметров режима склеивания. Получена регрессионная модель зависимости прочностных показателей напольных планок от режима склеивания: продолжительности прессования, толщины пакета шпона и температуры плит пресса. Установлено, что наибольшее влияние на целевую функцию оказывают продолжительность прессования и толщина пакета шпона. Полученная модель в виде адекватного уравнения регрессии со значимыми коэффициентами позволяет выполнять технологические задачи по изготовлению напольных планок из березового лущеного шпона. Для получения планок максимальной прочности при статическом изгибе ($\sigma_{из} = 31,2$ МПа) в рамках варьируемых факторов оптимальным является следующий режим прессования: $\tau = 8$ мин, $S_n = 13,3$ мм, $T = 120$ °С.

Ключевые слова: прочность, лущеный шпон, склеивание, напольная планка

Для цитирования: Условия получения композиционных материалов из березового лущеного шпона при изготовлении напольных планок / А. А. Лукаш, А. А. Пыкин, В. А. Романов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 144–153.

Original article

CONDITIONS FOR OBTAINING COMPOSITE MATERIALS FROM BIRCH PEELED VENEER IN THE MANUFACTURE OF FLOOR SLATS

Alexander A. Lukash², Alexey A. Pykin², Viktor A. Romanov³,
Dmitry M. Maksimenko⁴, Oleg N. Chernyshev⁵

¹⁻⁴ Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia

⁵ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Alexander A. Lukash,
mr.lukasch@yandex.ru

Abstract. The article substantiates the possibility of manufacturing floor slats from birch peeled veneer, which reduces raw material costs compared with raw material costs in the production of oak parquet. To improve the performance properties of birch peeled veneer floor slats, it is proposed to increase their density during the gluing process. To achieve a fixed thickness of the floor slats, it is suggested to use spacers during gluing, which reduces the amount of wood by 25 % due to the allowance for planing, while the use of glue ensures stability in thickness. The results of the research of the dependence of the static bending strength of floor slats on the parameters of the gluing mode are presented. A regression model has been obtained for the dependence of the strength characteristics of floor slats on the gluing mode: the duration of pressing, the thickness of the veneer package, and the temperature of the press plates. It has been established that the duration of pressing and the thickness of the veneer package have the greatest impact on the target function. The resulting model, in the form of an adequate regression equation with significant coefficients, allows for the implementation of technological tasks related to the production of floor slats made from birch peeled veneer. To achieve the maximum static bending strength ($\sigma_b = 31,2$ MPa) within the range of variable factors, the following pressing conditions are optimal: $\tau = 8$ minutes, $S_p = 13,3$ mm, and $T = 120$ °C.

Keywords: strength, peeled veneer, gluing, floor slats

For citation: Conditions for obtaining composite materials from birch peeled veneer in the manufacture of floor slats // A. A. Lukash, A. A. Pykin, V. A. Romanov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 144–153.

Введение

Несмотря на имеющуюся самую большую в мире площадь лесов, лесной комплекс России по величине получаемых доходов значительно отстает от промышленно развитых стран. В США доход от использования лесов составляет 119 млрд долл., тогда как в России – 0,055 млрд долл. (Булгакова, 2021). Поэтому Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года предусматривается повышение уровня доходности лесопользования (Об утверждении стратегии..., 2021). Вследствие хороших эксплуатационных показателей твердолиственная и хвойная древесина активно

используется. В результате этого спрос на нее превышает предложение и постоянно растет цена. Проблему увеличивающегося дефицита ценной в техническом отношении твердолиственной древесины в настоящее время пытаются решить вовлечением в рубку не достигших возраста спелости древостоев (Гагарин, 2021). Но такой способ решения данной проблемы в будущем еще больше усилит дефицит твердолиственной древесины и, как следствие, приведет к еще большему возрастанию цен на сырье.

Авторы предлагают более широко вовлекать в промышленную переработку мягколиственную древесину путем улучшения ее эксплуатационных

показателей, вследствие чего станет возможным расширение сферы ее использования (Лукаш, Лукутцова, 2021). Итальянская фирма ALPI продолжительным изготовлением отделочных материалов из мягколиственной древесины, которые имитируют красивую текстуру твердолиственной древесины, подтвердила эту возможность (Вараксин, Кошелева, 2017; Composite layered..., 2025; Максименко, 2025).

Для производства паркетных напольных покрытий традиционно используется твердолиственная древесина, которая обладает высокой стойкостью к истиранию. Как известно, при уплотнении древесины березы ее прочностные показатели возрастают (Уголев, 2007). Поэтому для обоснования возможности использования древесины березы в паркетном производстве проведены данные исследования.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель исследований – обоснование возможности применения древесины березы при изготовлении напольных паркетных покрытий. Задача исследований – установление зависимости прочностных показателей от условий склеивания. Объект исследования – напольные планки из березового лущеного шпона. Предмет исследований – параметры режима: продолжительность прессования, толщина склеиваемого пакета из шпона, температура плит пресса. Применяемые материалы: березовый лущеный шпон толщиной 1,15 мм. При склеивании применялся клей на основе смолы карбамидоформальдегидной (КФС) марки КФ120-65 ТУ2311-001-00252569–94. Оборудование: для склеивания – гидравлический пресс марки П-713; для испытания – разрывная машина Р-5. Целевую функцию (предел прочности при статическом изгибе) σ , МПа, определяли по формуле

$$\sigma = 3/2 (Fl) / (bh^2), \quad (1)$$

где F – максимальная нагрузка, Н;

l – пролет, расстояние между центрами опор, равный 200 мм;

b и h – соответственно ширина и высота образца, мм.

Исследование влияния продолжительности прессования (X_1) от 6 до 8 мин; толщины пакета лущеного шпона (X_2) от 10,5 до 13,5 мм; температуры плит пресса (X_3) от 110 до 120 °С на предел прочности при статическом изгибе выполнялось методом композиционного планирования эксперимента по плану Бокса (В3) в соответствии с методикой (Пижурин, 2005). Установление регрессионной модели и построение графических зависимостей производилось с помощью компьютерных программ PlanExp B-D13, Excel и SigmaPlot.

Результаты и их обсуждение

Промышленный (индустриальный, технический, коммерческий) паркет – это небольших размеров планки древесины (рис. 1).

Паркетные планки изготавливают из массивной некондиционной древесины, непригодной для изготовления традиционного паркета размерами: длиной – до 250 мм; шириной – до 100 мм; толщиной – до 23 мм. Внешний вид этой продукции уступает по эстетическим свойствам традиционным видам паркета, но меньшие размеры обуславливают более низкую цену и спрос.

Промышленный (индустриальный) паркет по прочности и износостойкости соответствует классическому паркетному полу. Эти планки применяют в качестве напольных покрытий офисных помещений, торговых залов, танцплощадок, театральных сцен, ресторанов, кафе, актовых залов, школ и т. д. Преимуществом этого вида напольного покрытия являются большая экономия времени и денежных средств при укладке планок по системе шип-паз; сохраняемость геометрических размеров и форм.

Основной эксплуатационный показатель паркетного покрытия – стойкость к истиранию, определяемая плотностью и твердостью. Вследствие этого сырьем для производства паркетной продукции традиционно является дуб, который при плотности 750 кг/м³ обладает твердостью по Бринеллю 3,7. Однако эта древесина является дефицитной и дорогой (более 70 000 руб. за 1 м³ лесоматериалов). Береза широко распространена в России, и цена на нее в десять раз ниже, чем

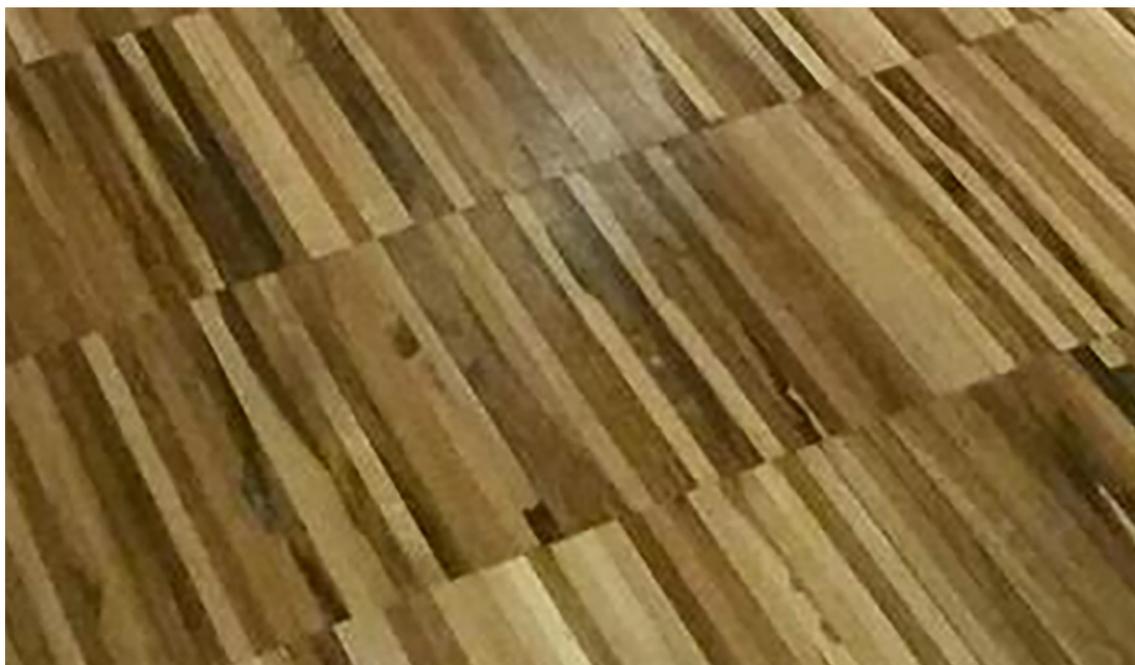


Рис. 1. Планки промышленного паркета
Fig. 1. Industrial parquet slats

на лесоматериалы из дуба. Однако при плотности 600 кг/м³ береза обладает меньшей твердостью по Бринеллю – 3,0. Вследствие этого береза для производства паркета не применяется. Как известно, улучшение эксплуатационных свойств древесины достигается уплотнением (Хуажев, 2000) или модификацией (Шамаев и др., 2006). Поэтому, уплотнив древесину березы, можно улучшить ее эксплуатационные (прочностные) характеристики и тем самым сделать пригодной для получения напольных покрытий.

Предлагаемая технология получения напольных планок из лущеного шпона березы аналогична технологии склеивания фанеры общего назначения, а уплотнение древесины достигается регулированием параметров режима склеивания (Куликов, 1976). При производстве напольных паркетных планок необходимо обеспечение стабильной толщины, тогда как при склеивании фанеры толщина может изменяться в диапазоне $\pm 10\%$ от толщины склеиваемого материала.

Для обеспечения стабильной толщины по традиционной паркетной технологии пиломатериалы строгают с припуском по толщине 4 мм. В результате этого полезный выход продукции снижается из-за потерь на строгание на 25 % при толщине

планки 16 мм. Вследствие этого при производстве паркета полезный выход составляет 45–50 %. Также положительным фактором в вопросе получения фиксированной толщины будет являться наличие клея. Клей при нанесении частично впитывается в лущеный шпон, а затем в процессе склеивания становится твердым и тем самым дополнительно фиксирует толщину детали. Поэтому для получения фиксированной толщины напольных планок их склеивание производилось с применением ограничительных прокладок (Способ изготовления..., 2025). На рис. 2 приведена схема получения напольных планок из лущеного шпона фиксированной толщины.

Стойкость к истиранию и прочность при статическом изгибе взаимосвязаны. Поэтому для установления возможности изготовления напольных планок из березового лущеного шпона проведено исследование зависимости прочности при статическом изгибе от параметров режима склеивания. Постоянными факторами при проведении исследований были:

- толщина березового лущеного шпона 1,15 мм;
 - расход клея КФ 120–65 на 1 м² 110–115 г;
 - давление на склеиваемый пакет 1,8–2 МПа.
- Переменные факторы приведены в табл. 1.

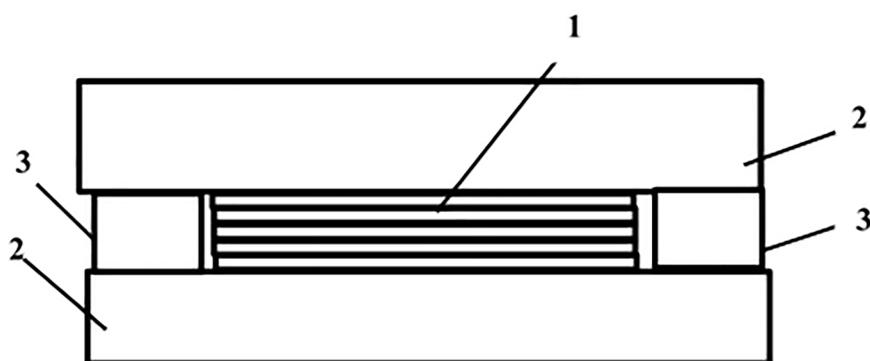


Рис. 2. Схема получения напольных планок фиксированной толщины:
1 – пакет лущеного шпона; 2 – плиты пресса; 3 – ограничительные прокладки
Fig. 2. Scheme for obtaining floor slats of fixed thickness:
1 – package of peeled veneer; 2 – press plates; 3 – limiting spacers

Таблица 1
Table 1

Переменные факторы исследования
Variable research factors

Факторы Factors	Обозначения Designations		Интервал Range	Уровни варьирования Variation levels		
	в натуральном виде in natural form	в кодированном виде in encoded form		Нижний Lower	Основной Main	Верхний Upper
				-1	0	1
1. Продолжительность прессования, мин Duration of pressing, min	τ	X_1	1,0	6,0	7,0	8,0
2. Толщина пакета, мм Package thickness, mm	S_{Π}	X_2	1,4	10,5	11,9	13,3
3. Температура, °C Temperature, °C	T	X_3	5,0	110	115	120

Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Значимость коэффициентов модели определялась по критерию Стьюдента:

$$t_1 = |b_1| / S\{b_1\}, \quad (2)$$

где b_1 – i -й коэффициент ($b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}$);

$S\{b_1\}$ – среднеквадратическое отклонение в определении b_i .

Для выбранного уровня значимости (5 %) и данного числа степеней свободы расчетное значение t_1 сравнивалось с табличным $t_{\text{табл}}$. Коэффициент модели b_1 считается незначимым, если t_1 менее $t_{\text{табл}}$.

Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера:

$$F = S_{\text{ад}}^2 / S_{\text{в}}^2, \quad (3)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ – дисперсия адекватности;
 $S_{\text{в}}^2$ – дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах.

Значения $S_{\text{ад}}^2$ и $S_{\text{в}}^2$ рассчитывались по формулам

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N - n_3} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2, \quad (4)$$

$$S_{\text{в}}^2 = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (5)$$

где N – количество опытов в плане эксперимента ($N = 10$);

m – число параллельных измерений в каждом опыте ($m = 3$);

n_3 – количество значимых коэффициентов;
 \bar{y}_u – среднее значение прочности в u -м опыте;
 \hat{y}_u – прочность, предсказанная по уравнению;
 y_{uj} – прочность в u -м опыте j -м параллельном измерении.

Расчетное значение F сравнивалось с табличным $F_{\text{табл}}$ при значимых коэффициентах. При F менее $F_{\text{табл}}$ модель является достоверной.

Методом математического планирования трехфакторного эксперимента установлено, что зависимость прочности при статическом изгибе напольных планок от продолжительности прессования (τ , мин), толщины пакета шпона ($S_{\text{п}}$, мм) и температуры (T , °C) представлена адекватным уравнением регрессии со значимыми коэффициентами:

$$Y = 23,01 + 1,16X_1 + 4,43X_2 + 2,29X_3 - 1,16X_1^2 + 1,51X_2^2 - 1,55X_3^2 - 0,86X_1X_2 + 1,16X_1X_3 + 1,19X_2X_3. \quad (6)$$

Графические зависимости прочности при статическом изгибе от параметров режима склеивания проиллюстрированы на рис. 3.

Из уравнения регрессии (6) и поверхностей отклика (см. рис. 3) следует, что наибольшее влияние на прочность напольных планок оказывают продолжительность прессования (X_1) и толщина пакета шпона (X_2). С их возрастанием прочность напольных планок увеличивается. Для получения планок максимальной прочности при статическом изгибе ($\sigma_{\text{из}} = 31,2$ МПа) в рамках варьируемых факторов оптимальным является следующий режим прессования: $\tau = 8$ мин, $S_{\text{п}} = 13,3$ мм, $T = 120$ °C.

Таблица 2
Table 2

Матрица планирования и результаты эксперимента
Planning matrix and experimental results

№	Кодированный вид Coded view			Натуральный вид Natural appearance			Прочность при изгибе σ , МПа Bending strength σ , МПа
	X_1	X_2	X_3	τ , мин	$S_{\text{п}}$, мм	T , °C	
1	–	–	–	6	10,5	110	15,2
2	+	–	–	8	10,5	110	18,1
3	–	+	–	6	13,3	110	25,2
4	+	+	–	8	13,3	110	20,3
5	–	–	+	6	10,5	120	17,1
6	+	–	+	8	10,5	120	20,3
7	–	+	+	6	13,3	120	27,5
8	+	+	+	8	13,3	120	31,6
9	–	0	0	6	11,9	115	18,3
10	+	0	0	8	11,9	115	24,6
11	0	–	0	7	10,5	115	20,7
12	0	+	0	7	13,3	115	31,1
13	0	0	–	7	11,9	110	18,2
14	0	0	+	7	11,9	120	23,4
15	0	0	0	7	11,9	115	21,5

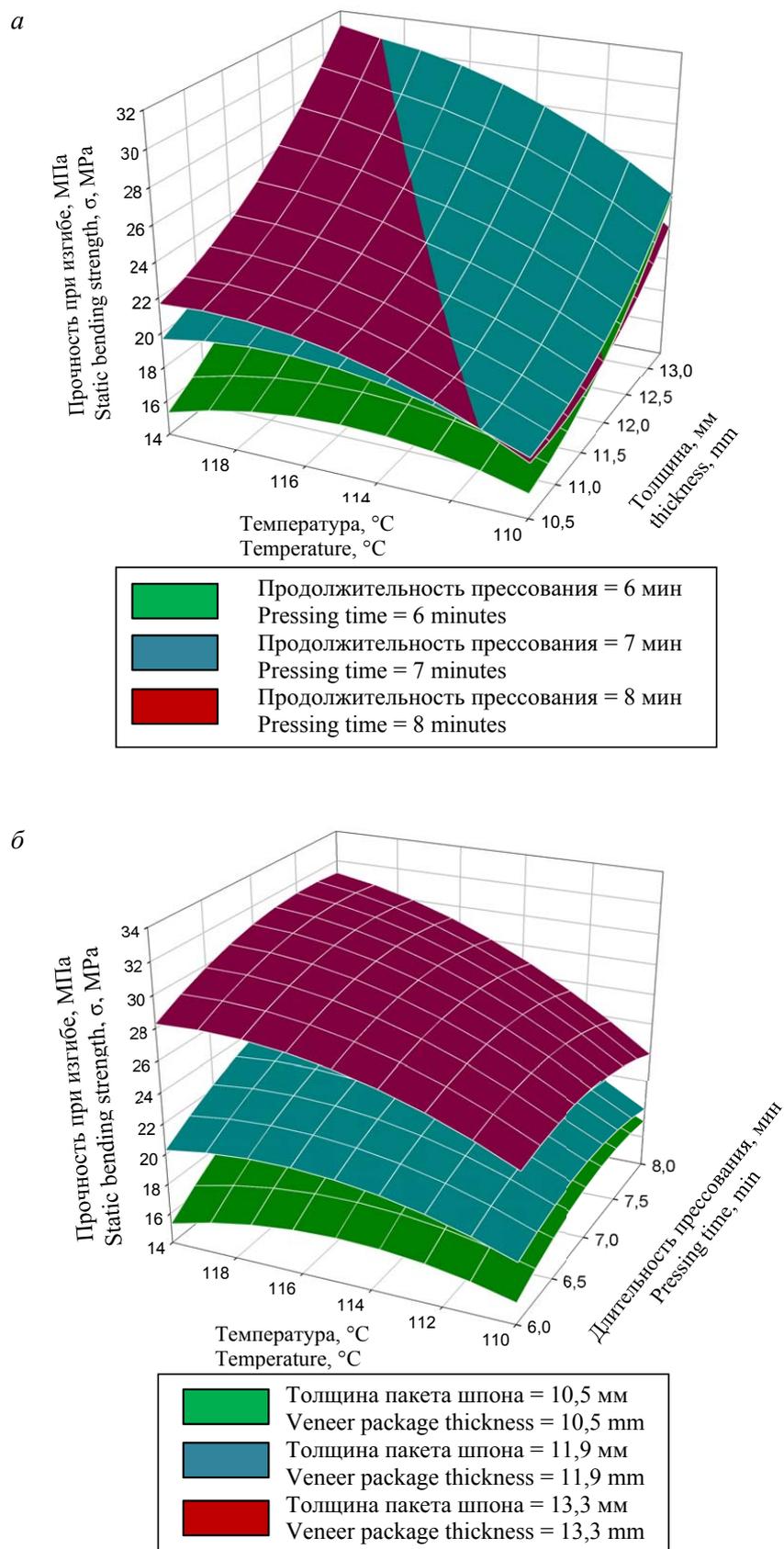


Рис. 3. Зависимости прочности при статическом изгибе напольных планок от продолжительности прессования (*a*) и толщины пакета (*б*)
Fig. 3. Dependence of the static bending strength of floor slats on the pressing duration (*a*) and veneer package thickness (*б*)

Выводы

В результате проведения исследований установлено следующее.

1. Обоснована возможность изготовления напольных планок из березового лущеного шпона, что обеспечивает снижение сырьевых затрат по сравнению с сырьевыми затратами при производстве паркета из дуба.

2. Эксплуатационные показатели свойств напольных планок из березового лущеного шпона предлагается повысить уплотнением в процессе их склеивания. Для получения фиксированной толщины напольных планок рекомендуется производить их склеивание с применением дистанционных прокладок, что позволит снизить расход древесины на 25 % за счет припусков на строгание, а применение клея обеспечит стабилизацию толщины.

3. Проведено исследование зависимости прочности при статическом изгибе напольных планок

от параметров режима склеивания. Получена регрессионная модель зависимости прочностных показателей напольных планок от режима склеивания: продолжительности прессования, толщины пакета шпона и температуры плит пресса. Установлено, что наибольшее влияние на целевую функцию оказывают продолжительность прессования и толщина пакета шпона.

4. Полученная модель в виде адекватного уравнения регрессии со значимыми коэффициентами позволяет выполнять технологические задачи по изготовлению напольных планок из березового лущеного шпона. Для получения планок максимальной прочности при статическом изгибе ($\sigma_{из} = 31,2$ МПа) в рамках варьируемых факторов наиболее оптимальным является следующий режим прессования: $\tau = 8$ мин, $S_{п} = 13,3$ мм, $T = 120$ °С.

Список источников

- Булгакова М. А. Формирование системы обеспечения экономической безопасности лесного комплекса России : дис. ... д-ра экон. наук / Булгакова Марина Александровна. СПб. : СПбГЭУ, 2021. 356 с.
- Вараксин В. В., Кошелева Н. А. Использование реструктурированного шпона (файн-лайн) для облицовывания щитов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2017. С. 60–62.
- Гагарин Ю. Н. Научный комментарий к стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, № 4. Ст. № 96.
- Куликов В. А. Производство фанеры. М. : Лесн. пром-сть, 1976. 340 с.
- Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Процессы комплексной переработки древесины мягких лиственных пород в композиционные материалы строительного назначения с улучшенными эксплуатационными свойствами. М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. 324 с.
- Максименко Д. М. Изготовление из древесины мягких лиственных пород декоративных пластин, имитирующих текстуру дуба // Актуальные вопросы техники, науки, технологии : сб. науч. тр. нац. конф. 13–15 февраля 2025 г. / под общ. ред. Т. Э. Сергутиной. Брянск : Брянск. гос. инж.-технол. ун-т, 2025. С. 179–182.
- Об утверждении стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.02.2021 г. № 312-р // КонсультантПлюс : [сайт]. URL: <https://inlnk.ru/LAAVNO> (дата обращения: 12.09.2025).
- Пижурич А. А. Основы научных исследований в деревообработке. М. : МГУЛ, 2005. 304 с.
- Способ изготовления композиционных отделочных материалов из древесины лиственных пород / О. Н. Чернышев, А. А. Лукаш, В. А. Романов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 109–114.

- Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. : МГУЛ, 2007. 340 с.
- Хуажев О. З. Формирование декоративных элементов мебели из древесины методом термопрессования : дис. ... д-ра техн. наук / Хуажев Олег Закиреевич. Воронеж, 2000. 293 с.
- Шамаев В. А., Скориданов Р. В., Постников В. В. Получение модифицированной древесины с высокими прочностными свойствами // Известия вузов. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 78–83.
- Composite layered materials from soft hardwood species imitating oak structure / A. Lukash, E. Sivakova, O. Chernyshev [et al.] // E 3S Web Conf. Vol. 627. URL: <https://clav.usfeu.ru/handle/123456789/14486> (accessed 12.09.2025). DOI: 10.1051/e3sconf/202562705002

References

- Bulgakova M. A. Formation of the economic security system of the Russian forest complex : Dissertation. ... doct. economy. Sciences / Bulgakova Marina Alexandrovna. St. Petersburg : SPbSUE, 2021. 356 p.
- Composite layered materials from soft hardwood species imitating oak structure / A. Lukash, E. Sivakova, O. Chernyshev [et al.] // E 3S Web Conf. Vol. 627. URL: <https://clav.usfeu.ru/handle/123456789/14486> (accessed 12.09.2025). DOI: 10.1051/e3sconf/202562705002
- Gagarin Yu. N. Scientific commentary on the development strategy of the forest complex of the Russian Federation until 2030 // Issues of Forest Science. 2021. Vol. 4, № 4. Article № 96. (In Russ.)
- Khuazhev O. Z. The formation of decorative elements of furniture made of wood by thermal pressing : dis. ... doct. Technical Sciences / Oleg Zakireevich Khuazhev. Voronezh, 2000. 293 p.
- Kulikov V. A. Plywood production. Moscow : Forest Industry, 1976. 340 p.
- Lukash A. A., Lukutsova N. P. The processes of complex processing of soft hardwood into composite materials for construction purposes with improved performance properties. Moscow ; Berlin : Direct-Media, 2021. 324 p.
- Maksimenko D. M. Production of decorative plates from soft hardwood that mimic the texture of oak // Actual issues of engineering, science, technology : collection of scientific papers of the national conference on February 13–15, 2025 / Under the general editorship of T. E. Sergutina. Bryansk : Bryansk State Technological University of Engineering, 2025. P. 179–182. (In Russ.)
- Improving the technology of cabinet furniture with volumetric profile facades / O. N. Chernyshev, A. A. Lukash, V. A. Romanov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 1 (92). P. 109–114. (In Russ.)
- Shamaev V. A., Skoridanov R. V., Postnikov V. V. Obtaining modified wood with high strength properties // News of the universities. Forest Journal. 2006. № 4. P. 78–83. (In Russ.)
- On approval of the strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 : Decree of the Government of the Russian Federation dated 11.02.2021 № 312-R // KonsultantPlus : [website]. URL: <https://inlnk.ru/LAAVNO> (accessed 12.09.25).
- Pyzhurin A. A. Fundamentals of scientific research in woodworking. Moscow : MGUL, 2005. 304 p.
- Ugolev B. N. Wood science with the basics of forest commodity science : textbook for universities. 3rd ed., reprint. and add. Moscow : MGUL, 2007. 340 p.
- Varaksin V. V., Kosheleva N. A. The use of restructured veneer (fine-line) for cladding shields // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : mater. XIII All-Russian Scientific and Technical conference of students and postgraduates and the Umnik program competition. Yekaterinburg, 2017. P. 60–62. (In Russ.)

Информация об авторах

Александр Андреевич Лукаш – доктор технических наук, профессор,
mr.luckasch@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5675-6304>

Алексей Алексеевич Пыкин – кандидат технических наук, доцент,
alexem87@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1369-4884>

Виктор Александрович Романов – кандидат технических наук, доцент,
vromanov62@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-1794-7956>

Дмитрий Максимович Максименко – аспирант,
ttazikofficial@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0009-7342-5687>

Олег Николаевич Чернышев – кандидат технических наук, доцент.
chernyshevon@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9396-1246>

Information about the authors

Alexander A. Lukash – Doctor of Technical Sciences, Professor,
mr.luckasch@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5675-6304>

Alexey A. Pykin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
mr.luckasch@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5675-6304>

Victor A. Romanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
alexem87@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1369-4884>

Dmitry M. Maksimenko – postgraduate student,
ttazikofficial@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0009-7342-5687>

Oleg N. Chernyshev – candidate of technical sciences, associate professor.
chernyshevon@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9396-1246>

Статья поступила в редакцию 19.11.2025; принята к публикации 20.12.2025.

The article was submitted 19.11.2025; accepted for publication 20.12.2025.
