

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 157–164.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 157–164.

Научная статья

УДК 674.812-824

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ КЛЕЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАНЕРЫ

А. О. Абрамовских¹, М. В. Газеев², С. В. Щепочкин³,
О. Ф. Шишлов⁴, К. В. Носоновских⁵

¹⁻⁵ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Газеев Максим Владимирович,
gazeevmv@usfeu.ru

Аннотация. В статье рассматривается введение в клей наполнителя, полученного из отходов фанерного производства, который позволяет уменьшить расход клея и придать нужные технологические свойства клееной слоистой продукции из древесины и, как следствие, снизить себестоимость ее изготовления. Наполнитель клея получили путем измельчения обрезков фанеры в рубительной машине до состояния древесной игольчатой щепы, затем в мельнице до фракции древесной муки. Исследования позволили установить влияние количества и фракционного состава вводимого в клей наполнителя на прочностные показатели получаемой фанеры. Результаты исследования подтверждают предположения, что получаемый из отходов фанерного производства наполнитель может быть применен для замены древесной муки и мела, так как из-за схожего фракционного состава он по свойствам сопоставим с древесной мукой, а из-за наличия отвержденной смолы в наполнителе – с мелом, что позволяет произвести продукцию с высокими физико-механическими характеристиками, решает вопросы утилизации отходов, сохраняет окружающую среду с получением экономического эффекта от внедрения наполнителя в промышленных масштабах. Созданная фанера может применяться в строительстве, при возведении опалубки, деревянных конструкций, полов, крыш, заборов, стеновых панелей; при производстве транспортных средств для изготовления грузовых и легковых автомобилей, автобусов и прицепов; в производстве рекламных щитов и билбордов; в производстве упаковки, для транспортировки различных товаров; в производстве мебели для изготовления шкафов, столов, стеллажей, т. е. тех изделий, к которым предъявляются определенные требования к качеству используемых материалов.

Ключевые слова: фанера, наполнитель, клей, прочность скалывания

Для цитирования: Исследование влияния наполнителя клея на физико-механические свойства фанеры / А. О. Абрамовских, М. В. Газеев, С. В. Щепочкин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 157–164.

Original article

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE GLUE FILLER ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLYWOOD

Alexander O. Abramovskikh¹, Maxim V. Gazeev², Sergey V. Shchepochkin³,
Oleg F. Shishlov⁴, Kirill V. Nosonovskich⁵

¹⁻⁵ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Maxim V. Gazeev,
gazeevmv@usfeu.ru

Abstract. The article discusses the introduction of filler into glue obtained from plywood production waste, which allows to reduce glue consumption and gives the necessary technological properties to glued laminated wood products and, as a result, reduce the cost of its manufacture. The glue filler was obtained by crushing plywood scraps in a chopping machine to the state of wood needle chips, then in a mill to a fraction of wood flour. The research has made it possible to establish the influence of the amount and fractional composition of the filler introduced into the glue on the strength characteristics of the plywood obtained. The results of the research confirm the assumptions that the filler obtained from plywood production waste can be used to replace wood flour and chalk, since due to its similar fractional composition, it is comparable in properties to wood flour, and due to the presence of cured resin in the filler, to chalk, thereby allowing to obtain products with high physical and mechanical characteristics, while solving the issues of waste disposal, preserving the environment, and obtaining an economic effect from the introduction of filler on an industrial scale. The resulting plywood can be used in construction, in the construction of formwork, wooden structures, floors, roofs, fences, wall panels. It can also be used in the production of vehicles, including trucks, cars, buses, and trailers. It can also be used in the production of advertising boards and billboards. It can also be used in packaging for transporting various goods. It can also be used in furniture manufacturing, for the manufacture of cabinets, tables, and shelving—in other words, for products that require specific quality requirements for the materials used.

Keywords: plywood, filler, glue, shear strength

For citation: Investigation of the influence of the glue filler on physical and mechanical properties of plywood / A. O. Abramovskikh, M. V. Gazeev, S. V. Shchepochkin [et al.] // Forests of Russia and economy of them. 2025. № 4 (95). P. 157–164.

Введение

На деревоперерабатывающих предприятиях при утилизации отходов применяют различное технологическое оборудование для их измельчения и дальнейшей переработки, такое как, например, рубительные машины, мельницы и т. п. В большинстве случаев после измельчения древесных отходов их используют для получения брикетов или древесных гранул. В процессе производства фанеры на различных технологических операциях образуются отходы, как, например, на этапе об-

резки листов фанеры по формату на круглопильных станках после склеивания остается обрезь. Правильное и эффективное использование отходов позволяет приблизить технологический процесс производства продукции к безотходному, что улучшает экологическую обстановку и открывает возможность получения дополнительной прибыли для предприятия. Переработка отходов путем их измельчения до фракции древесной муки позволит осуществить их дальнейшую реализацию. Например, можно предположить, что древесную муку

из отходов обрезки фанеры можно применять как наполнитель клея путем замены древесной муки и мела (Иржигитова и др., 2023). Это способствует получению продукции с высокими физико-механическими характеристиками.

Цель, объекты и методики исследований

Цель работы – исследовать влияние древесного наполнителя клея, получаемого на основе отходов фанерного производства, на физико-механические свойства фанеры.

Для достижения цели решали следующие задачи.

1. Измельчение отходов, получаемых на этапе обрезков фанеры, в технологическую щепу с последующим доизмельчением до фракции древесной муки.
2. Ситовый анализ полученного наполнителя (древесной муки) на основе отходов путем разделения по фракциям.
3. Приготовления клея на основе смолы КФ-МТ с введением наполнителя различного фракционного состава, полученного на основе отходов.
4. Склеивание фанеры с применением разработанной рецептуры клея с различным количеством и фракционным составом наполнителя.
5. Исследование влияния адгезионной прочности полученных образцов фанеры в зависимости от количества и фракционного состава наполнителя клея.

В процессе проведения эксперимента для измельчения обрезков фанеры использовали молотковую мельницу «ЗУБР-1С» (рис. 1) и специальный дезинтегратор тонкого помола для твердых материалов 2000g Multi function disintegrator (рис. 2) (Абрамовских и др., 2025).

Ситовый анализ полученной древесной муки производили при помощи набора сит (рис. 3) (Абрамовских и др., 2024а). Для этого древесную муку помещали в верхнее сито с размером ячейки 0,75 мкм, под ним сито 0,6 мкм, ниже 0,43 мкм и 0,25 мкм (рис. 4). В итоге получили древесную муку из отходов фанеры фракционного состава от 0,75 мкм до древесной пыли (Абрамовских и др., 2024б).

Расход клея и массу вводимого в него наполнителя контролировали с помощью электронных весов ЕК-400Н. Для склеивания фанеры применяли шпон березовый толщиной 1,2 мм, на который вальцовым способом наносили клей на основе смолы КФ-МТ (ТУ 2223-360-00203447–99, производства Уралхимпласт) с введением полученного на основе обрезков фанеры (Наполнители и их влияние..., 2023) наполнителя в количестве 2, 4 и 6 %. Сборку пакета шпона с нанесенным клеем осуществляли согласно правилам сборки (рис. 5), (Ковальчук, 1979), а прессование фанеры производили на горячем прессе ПД-476.

Склеенную фанеру оценивали по физико-механическим показателям согласно ГОСТ 9624–2009 для испытаний на разрывной машине МР-0,5.



Рис. 1. Молотковая мельница «ЗУБР-1С»
Fig. 1. Hammer mill “ZUBR-1С”



Рис. 2. Измельченные в молотковой мельнице
обрезки фанеры
Fig. 2. Plywood clippings crushed in a hammer mill



Рис. 3. Дезинтегратор тонкого помола
2000g Multi function disintegrator
Fig. 3. Fine grinding disintegrator
2000g Multi function disintegrator



Рис. 4. Сита: слева – для разделения древесной муки на фракционный состав, справа – полученные фракции древесной муки 0,6 и 0,25 мкм
Fig. 4. Sieves: on the left – for separating wood flour into fractional composition, on the right – the obtained fractions of wood flour 0,6 and 0,25 microns

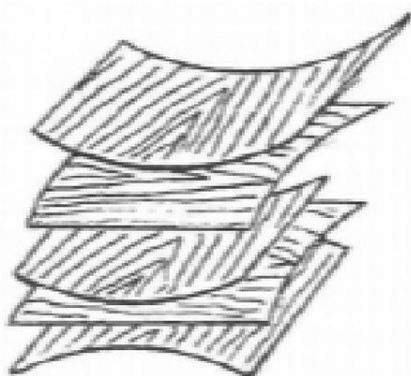


Рис. 5. Схема сборки пакета с нечетным количеством листов шпона (взаимно перпендикулярное направление волокон древесины)
Fig. 5. Assembly scheme of a package with an odd number of veneer sheets (mutually perpendicular to the direction of the wood fibers)

Для этого из фанеры выпиливали специальные образцы (рис. 6, 7). Склеивание фанеры выполняли при типовом технологическом режиме: $t = 115 \dots 120^\circ\text{C}$, $P = 1,8 \dots 2,0 \text{ МПа}$, $\tau = 4,5 \dots 6,0 \text{ мин}$, $\tau_{\text{сн}} = 1,5 \text{ мин}$.

В результате были проведены исследования предела прочности фанеры, получаемой при склеивании с различным фракционным составом и количеством наполнителя, а для определения зависимости была выбрана фракция наполнителя 0,6 мкм, так как на основании предварительно проведенных опытов она лучше всего подходит для введения в клей.

Для данного фракционного состава наполнителя провели исследование зависимости введения в клей количества наполнителя от 2 до 6 %. Исследования проводились для пяти повторений опыта, и в результате статистической обработки данных получено уравнение регрессии

$$y = 0,102x^2 - 1,095x + 0,07, \quad (1)$$

адекватно описывающее влияние введенного в клей наполнителя фракционного состава 0,6 на прочность фанеры при скалывании, с величиной достоверности $R^2 = 0,85$. Результаты исследования прочности фанеры на скалывание в зависимости от количества наполнителя в клее представлены на графике (рис. 8).

Исследования прочности фанеры на скалывание в зависимости от количества наполнителя после ее выдержки в воде в течение 24 ч проводились для пяти повторений опыта. В результате статистической обработки данных получено уравнение регрессии

$$y = 0,049x^2 - 0,35x + 1,49, \quad (2)$$

адекватно описывающее влияние введенного в клей наполнителя фракционного состава 0,6 на прочность фанеры при скалывании, с величиной достоверности $R^2 = 1$.

На рис. 9 представлен график данной зависимости.



Рис. 6. Склеенная фанера и образцы для определения предела прочности фанеры при скалывании

Fig. 6. Glued plywood and samples for determining the shear strength of plywood



Рис. 7. Испытательная машина (слева) и приспособление (справа) для определения предела прочности фанеры при скалывании:

1 – образец, 2 – упорная планка, 3 – планка, 4 – захват; 5 – упор, 6 – траверса;
7 – испытательные губки

Fig. 7. Testing machine (left) and device (right) for determining the shear strength of plywood:

1 – sample, 2 – thrust bar, 3 – bar, 4 – log dog, 5 – plane frog, 6 – traverse, 7 – test sponges

В результате исследования влияния наполнителя на прочностные свойства фанеры можно предположить гипотетический механизм влияния влаги на клеевой слой (рис. 10).

Вероятно, введенный в клей наполнитель (измельченные обрезки фанеры) фракции 0,6 мкм в количестве 6 % при воздействии воды набухает в поверхностном слое и препятствует дальнейшему прониканию влаги внутрь клеевого шва. Как следствие, наблюдаем наибольшую адгезию наполненного клея с листами шпона.

Анализируя полученные графические зависимости на рис. 9, можно предположить, что при введении 2 % наполнителя большую часть клеевого слоя составляет клей, который, набрав прочность, сопротивляется проникающему воздействию влаги.

Количество наполнителя 4 % недостаточно для проникновения влаги внутрь клеевого шва, как и недостаточно клея, который, набрав прочность, препятствовал бы проникновению влаги, поэтому мы наблюдаем снижение прочности фанеры.

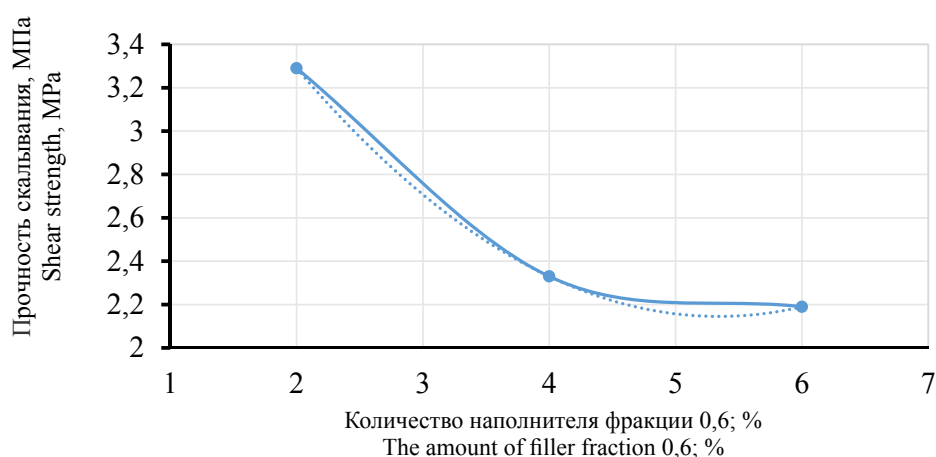


Рис. 8. График зависимости прочности фанеры на скалывание от количества введенного в клей наполнителя

Fig. 8. Graph of the dependence of plywood shear strength on the amount of filler introduced into the glue

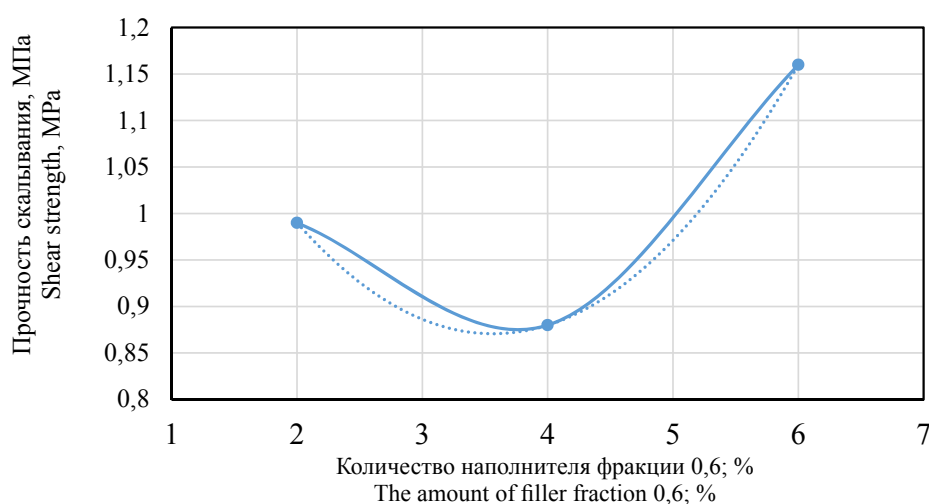


Рис. 9. График зависимости прочности фанеры на скалывание от количества введенного в клей наполнителя (для фанеры, предварительно выдержанной 24 ч в эксикаторе с водой)

Fig. 9. Graph of the dependence of plywood shear strength on the amount of filler introduced into the glue (for plywood previously kept for 24 hours in a desiccator with water)

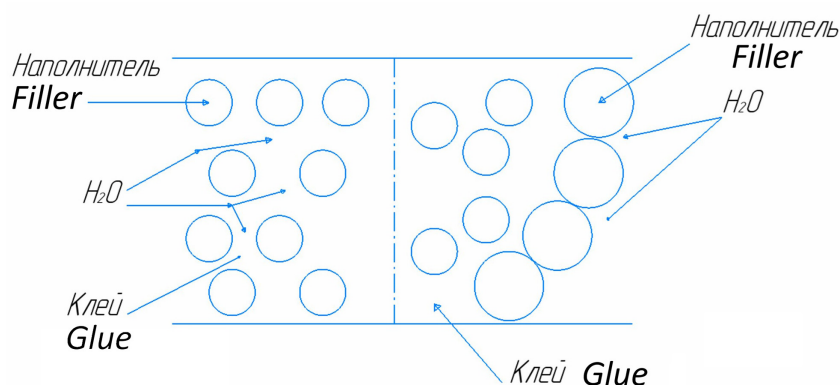


Рис. 10. Гипотетический механизм проникновения влаги в клеевой слой фанеры

Fig. 10. Hypothetical mechanism of moisture penetration into the plywood adhesive layer

Выводы

1. При применении наполнителя для фанеры, выдержанной в эксикаторе с водой, в небольших количествах (0,6 мкм, 2 %) наблюдается наибольший набор прочности образцов фанеры, что свидетельствует о хорошей адгезии клея с листами березового шпона.

2. Наибольшую прочность на скалывание выдержанная в воде фанера набирает при 6 % наполнителя фракцией 0,6. При количестве наполнителя этой фракции 4 % адгезионная прочность

с поверхностью шпона наименьшая. Происходит набухание частиц наполнителя, смолы клея и, как следствие, ухудшение адгезии.

3. Следует учесть и тот фактор, что при склеивании листов шпона использовался клей КФ-МТ, который имеет ограниченную водостойкость.

4. Для подтверждения объяснения гипотетического механизма взаимодействия влаги с клеевым слоем и адгезионной прочности необходимо дальнейшее проведение исследований.

Список источников

- Абрамовских А. О., Газеев М. В., Чернышев О. Н. Снижение стоимости производства фанеры на этапе склеивания // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : матер. XIX Междунар. евразийского симпозиума, Екатеринбург, 18–20 сентября 2024 года. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2024а. С. 125–129.
- Абрамовских А. О., Потапов И. А., Газеев М. А. Наполнитель на основе древесных отходов фанерного производства // Вестник науки. 2024б. № 12 (81). Т. 2. С. 1409–1415.
- Абрамовских А. О., Потапов И. А., Газеев М. В. Влияние наполнителя на краевой угол смачивания карбамидоформальдегидной смолы // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XXI Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Екатеринбург, 2025. С. 481–486.
- ГОСТ 962–2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при складывании : Межгосударственный стандарт. М. : Стандартинформ, 2010. 14 с.
- Иржигитова С. М., Яцун И. В., Чернышев О. Н. Влияние наполнителей на свойства клеев при изготовлении клееных деревянных конструкций // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XIX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Екатеринбург, 2023. С. 412–416.
- Ковальчук Л. М. Производство деревянных клееных конструкций. М. : Лесн. пром-сть, 1979. 216 с.
- Наполнители и их влияние на свойства клеевых систем / О. Н. Чернышев, Е. С. Синегубова, С. М. Иржигитова, А. А. Артюшина // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : матер. XVII Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. С. 80–84.
- ТУ 2413-357-00203447–99. КФ-МТ. URL: <http://elektroximsnab.ru/promyshlennaja-himija/lakokrasochnye-materialy-i-syre/155-polijetilenpoliaminy?format=pdf> (дата обращения: 03.06.2025).

References

- Abramovskikh A. O., Gazeev M. V., Chernyshev O. N. Reducing the cost of plywood production at the gluing stage // Woodworking : technologies, equipment, management of the XXI century : Proceedings of the XIX International Eurasian Symposium, Yekaterinburg, September 18–20, 2024. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2024a. P. 125–129. (In Russ.)
- Abramovskikh A. O., Potapov I. A., Gazeev M. A. Filler based on wood waste from plywood production // Bulletin of Science. 2024b. Vol. 2, № 12 (81). P. 1409–1415. (In Russ.)
- Abramovskikh A. O., Potapov I. A., Gazeev M. V. The effect of filler on the marginal wetting angle of carbamide-formaldehyde resin // Scientific creativity of youth to the Russian forest complex : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates. Yekaterinburg, 2025. P. 481–486. (In Russ.)

- Fillers and their effect on the properties of adhesive systems / O. N. Chernyshev, E. S. Sinegubova, S. M. Irzhigitova, A. A. Artyushina // Woodworking : technologies, equipment, management of the XXI century : proceedings of the XVII International Eurasian Symposium. Yekaterinburg : USFEU, 2023. P. 80–84. (In Russ.)
- GOST 962–2009. Laminated glued wood Method for determining the ultimate strength during chipping : Interstate standard / М. : Standartinform, 2010. 14 p.
- Irzhigitova S. M., Yatsun I. V., Chernyshev O. N. The influence of fillers on the properties of adhesives in the manufacture of glued wooden structures // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : materials of the XIX century All-Russian (national) scientific and technical conference of students and postgraduates. Yekaterinburg, 2023. P. 412–416. (In Russ.)
- Kovalchuk L. M. Production of wooden glued structures. Moscow : Forest industry, 1979. 216 p.
- Lukash A. A. Technology of glued materials. St. Petersburg : Lan, 2014. 144 p.
- Technical specifications 2413-357-00203447–99. CF-MT. URL: <http://elektroximsnab.ru/promyshlennaja-himija/lakokrasochnye-materialy-i-syre/155-polijetilenpoliaminy?format=pdf> (accessed 03.06.2025).

Информация об авторах

Александр Олегович Абрамовских – студент,

nosonovskih@m.usfeu.ru

Максим Владимирович Газеев – доктор технических наук, доцент,

gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

Олег Федорович Шишлов – доктор технических наук, профессор,

o.shishlov@ucp.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4656-5969>

Сергей Владимирович Щепочкин – кандидат технических наук,

shchepochkinsv@m.usfeu.ru

Кирилл Васильевич Носоновских – ассистент кафедры.

kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

Information about the authors

Alexander O. Abramovskikh – student,

nosonovskih@m.usfeu.ru

Maxim V. Gazeev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

Oleg F. Shishlov – Doctor of Technical Sciences, Professor,

o.shishlov@ucp.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4656-5969>

Sergey V. Shchepochkin – Candidate of Technical Sciences,

shchepochkinsv@m.usfeu.ru

Kirill V. Nosonovskikh – Assistant Professor of the Department of Mechanical wood processing.

kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

Статья поступила в редакцию 04.06.2025; принята к публикации 24.07.2025.

The article was submitted 04.06.2025; accepted for publication 24.07.2025.
