

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2022.26.4>

## ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФАНЕРЫ

Научная статья

Маннапов А.Р.<sup>1\*</sup>, Кайнов П.А.<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

\* Корреспондирующий автор (arturmannapov[at]mail.ru)

### Аннотация

В данной статье дан анализ современного состояния техники и технологии создания фанеры с предварительной обработкой шпона. Приведены современные представления о теоретических основах процесса модификации фанеры. Изучены работы по повышению прочности клееной древесины и нетрадиционных способов сушки. Целью статьи является анализ изучения отечественных и зарубежных исследований в области производства фанеры. В работе были использованы такие методы исследования как анализ и синтез информации, обобщение и сравнение. В статье приведен анализ взглядов исследователей в области обработки клееной древесины. Результаты представленных исследований свидетельствуют о повышенном интересе к вопросам предварительной обработки шпона в производстве фанеры. Данное направление дополняется также рассмотрением предварительной озонной обработки шпона для повышения адгезионных свойств фанеры.

**Ключевые слова:** древесина, шпон, фанера, обработка, озонирование, сушка, адгезия.

## OVERVIEW OF DOMESTIC AND FOREIGN RESEARCH OF PLYWOOD PRODUCTION TECHNOLOGY

Research article

Mannapov A.R.<sup>1\*</sup>, Kainov P.A.<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

\* Corresponding author (arturmannapov[at]mail.ru)

### Abstract

The article analyzes the current state of technique and technology for plywood production with veneer preprocess. Modern ideas about the theoretical basis of the plywood modification process are presented. The research on increasing the strength of glued wood and non-traditional drying methods has been studied. The purpose of the article is to analyze the study of domestic and foreign research in the sphere of plywood production. Such research methods as analysis and synthesis of information, generalization and comparison were used in the study. The article provides an analysis of the views of researchers in the field of glued wood processing. The results of the presented research indicate an increased interest in the issues of veneer preprocess in the plywood production. This direction is also supplemented by the consideration of preliminary ozone processing of veneer to increase the adhesiveness of plywood.

**Keywords:** wood, veneer, plywood, processing, ozonation, drying, adhesion.

### Введение

Современная клееная древесина все больше и больше используется в различных отраслях промышленности. Одним из основных направлений ее использования является мебельное производство и строительство. Фанера занимает лидирующие позиции по объемам использования. Она нашла применение практически во всех сферах жизнедеятельности человека: строительстве, авиации, электротехнике, судостроении, машиностроении и т. д. Она уже давно считается отличным материалом, способным воплощать самые смелые и оригинальные дизайнерские решения. Шпон изготавливается из натурального дерева и используется для производства фанеры, придавая ей особую прочность и уникальные узоры, созданные самой природой. Популярность этого материала объясняется его низкой стоимостью, практичностью и универсальностью. Уникальная текстура натурального дерева, богатые различные оттенки, получаемые при окрашивании в любой цвет, позволяют создавать изделия, способные соперничать даже с произведениями искусства.

### Обзор исследований в области технологии производства фанеры

Основной тенденцией современной технологии является увеличение производственного процесса и сокращение количества побочных продуктов. Одним из перспективных направлений получения важных промышленных продуктов является использование озона. С экологической точки зрения это вещество считается перспективным реагентом, поскольку оно не образует токсичных продуктов превращения, а реакция с озоном происходит при комнатной температуре и атмосферном давлении. Стоит отметить, что количество озона, образующегося в атмосферном кислороде, достаточно для разрушения различных полимерных продуктов. Под воздействием озона в растворе полимера снижается молекулярная масса и насыщенность кислородсодержащих функциональных групп: кислот, кетонов, пероксидов и др. Этот процесс происходит при средних температурах, что обусловлено высокой реакционной способностью озона.

Развитие озонной технологии открыло новые возможности для ее применения в области переработки целлюлозосодержащего растительного сырья. Когда растительную матрицу непосредственно обрабатывают озоном, наблюдается разрушение лигнина. Методами инфракрасной спектроскопии и ультрафиолетовой спектроскопии

показано, что разрушение лигнина происходит под воздействием озона с образованием водорастворимого продукта окисления лигнина - ароматических карбонильных и карбоксилсодержащих соединений.

Процесс озонирования способствует повышению адгезионных свойств поверхностного слоя шпона, что обусловлено окислением озоном и разрушением реакционной способности лигнинсодержащих древесных продуктов. Это может дополнительно снизить расход клея при склеивании образцов, тем самым уменьшая выброс вредных летучих веществ. Исследования по озонированию термообработанного шпона показали, что по сравнению со шпоном из натуральной древесины он обладает более высокой влажостойкостью, что позволяет получать слоистые композиты с повышенными эксплуатационными характеристиками при меньшем расходе клея [1].

Во многих научных работах изучались изменения эксплуатационных характеристик фанеры в различных процессах обработки.

Повышения прочности фанеры можно добиться путем введения различных пропиток и добавок. Например, активированную нановолокнистую целлюлозу пропитывают древесиной [2], а к нанокристаллической целлюлозе [3] добавляют карбаметиламиноформальдегидную смолу.

В работах Попова В.М., Иванов А.В. и др. [4], [5], [6], [7] рассматривалось повышение прочности клееной древесины под воздействием магнитных полей. Для исследования были использованы образцы из дуба, клеи марок КФ-Ж, КФ-МТ-15, ПВА, Клейберит "Supraterm436", ЭД-5. Клей обрабатывают в магнитном поле или электрическом поле при напряжении  $H=(0...24) \times 104 \text{ a/m}$  и  $E=0...1484 \text{ В/см}$  соответственно в течение 20 минут. Затем добавляют отвердитель и полученный клей наносят на образец. Композицию отверждают в течение одних суток при давлении 0,3 МПа и температуре окружающей среды 25°C или в течение двух часов в термошкафу с температурой 60°C. Результаты исследований показывают, что с увеличением напряженности электрического и магнитного полей прочность клееных деревянных соединений возрастает. В работе [5], благодаря обработке в постоянном магнитном поле, было замечено, что прочность клеевого соединения увеличилась на 25–26%.

В работах Мозгова Н.В. и Попова В.М. [9], [10] изучается увеличение прочности клееной древесины под воздействием электрического поля. В данном исследовании использовались образцы из дуба, березы, клеи марок КФ-Ж, КФ-МТ-15. Клей обрабатывается в электрическом поле с напряжением  $E=0... 2000 \text{ В/см}$  в течение 15 минут. Затем добавляют отвердитель и полученный клей наносят на образец. Результаты их исследований показывают, что, воздействуя на полимерные компоненты клея электрическим полем, можно получить более прочную клееную древесину, чем необработанная древесина. Прочность клеевых соединений на основе ПВА была увеличена более чем на 20%, а КФ-Ж и Supraterm436 увеличены почти в 2 раза.

В работе Агеевой Т.С. изучалось совершенствование технологии комбинированной строительной фанеры, основанной на физико-механической модификации лущеного шпона [11].

Нетрадиционный способ сушки описан в работе Хмелева В.Н. [12]. Данная работа посвящена изучению процесса сушки нижней пластины под воздействием высокоинтенсивной ультразвуковой вибрации. Описаны преимущества ультразвуковой сушки шпона и возможность реальной реализации. Предложено сушильное устройство, пригодное для фактического осуществления ультразвуковой сушки шпона. Следует отметить, что эксперимент проводился на березовом шпоне толщиной 1,5–2 мм. Для того чтобы обсудить применимость этого метода для сушки шпона с увеличенной толщиной, необходимо провести дополнительные эксперименты с более широким диапазоном толщины шпона.

В работе Зиатдинова приведен анализ эксплуатационных характеристик и характерных изменений фанеры, созданной на основе термически модифицированного шпона и клея на основе смолы КФ-МТ-15 в процессе термического отверждения [13]. На основании экспериментальных исследований установлено, что термическая обработка древесины способствует снижению влагопоглощения шпона. Давление набухания шпона соответственно уменьшается по мере увеличения степени обработки материала. Автор обнаружил, что в процессе термообработки плотность шпона значительно снижается, что теоретически приведет к увеличению проницаемости шпона жидкостью. В результате клей проникает на поверхность фанеры в процессе ее прессования. Однако исследования проницаемости шпона, обработанного жидкостью, показали, что в случае низкотемпературной обработки наблюдается снижение проницаемости. Это можно объяснить сочетанием процесса сужения пор, вызванного термоусадкой, и увеличением водопроницаемости, наблюдаемым при более глубокой термической обработке древесины. Автор объясняет это некоторым «прокалыванием» пор шпона продуктом разложения. Эксперименты подтвердили повышение влажостойкости и водостойкости фанеры на основе термообработанного шпона. С увеличением степени термической модификации обеспечивается снижение водопоглощающей способности. Поскольку степень термической модификации шпона была увеличена до 0,4, предел прочности при растяжении немного увеличивается при статическом изгибе, а предел прочности фанеры при степени термической модификации шпона 0,6 сопоставим с пределом прочности обычной фанеры. Дальнейшее увеличение степени термообработки привело к значительному снижению прочностных характеристик фанеры.

Увеличение прочности фанеры было исследовано в работе Park, Byung-Dae [14]. Благодаря подбору молярного отношения формальдегида к мочеvine достигается высокая адгезия.

Одной из наиболее обширных работ, посвященных проблеме сушки шпона, является работа P.Koch [15]. В статье сравниваются различные способы сушки шпона южной сосны толщиной около 11 мм. На основе результатов исследований автор выдвигает предложения по выбору методов сушки для этого материала. Он предположил, что сушка этого материала в сушилке под давлением, циркуляционной конвекционной камере и газовой сушилке является наиболее экономически выгодной, но качество сушки не учитывается. Стоит отметить разработанный в Финляндии метод кондуктивной сушки шпона, который был предложен на Международной конференции по деревообработке в Окленде (Новая Зеландия) [16]. Экспериментальное устройство состоит из горячей верхней пластины, охлаждающей нижней пластины, вакуумного насоса, соединенного с сушильной камерой, и механического блока давления. Автор утверждает,

что при использовании рекомендуемой установки время сушки может быть сокращено примерно на 50%, а качество высушенного шпона практически не ухудшилось. К сожалению, автор не оценил производительность и экономическую эффективность предложенного способа. Кроме того, поскольку сушка осуществляется при температуре около 200°C, этот метод неприемлем для обработки ценных пород древесины, которые, как известно, очень чувствительны к высоким температурам.

В работах А.Е. Supplee и М.Р. Jeppson [17], [18] рассматривается использование промышленного микроволнового сушильного оборудования для сушки тонких древесных материалов. В частности, анализируются хорошо известные проблемы микроволновой сушки, такие как неравномерное распределение влаги в сухом материале и иногда образование влажных участков в сухом материале. Рекомендуется использовать чередующиеся стадии микроволновой и конвективной сушки в непрерывном устройстве для достижения большей равномерности сушки шпона.

Оригинальный метод обезвоживания шпона был предложен японскими учеными из Киотского университета [19]. Чтобы значительно снизить содержание влаги в шпоне с высокой начальной влажностью, для механического осушения используется каландрирующая машина. В результате эксперимента содержание влаги в шпоне может быть уменьшено вдвое. По словам автора, это эквивалентно удалению 400 кг влаги из 1 м<sup>3</sup> древесины. После обезвоживания оставшаяся влага довольно равномерно распределяется по объему образца. Было замечено, что после сжатия прочность на растяжение образцов, используемых для статического изгиба, уменьшается обратно пропорционально изменениям их толщины и прочности на сжатие. Очевидно, что этот способ механического обезвоживания позволяет удалить из древесины только свободную воду, и не позволяет снизить содержание влаги в шпоне до требуемого рабочего уровня, чтобы достичь в этом случае возможности реального промышленного применения, которое должно использовать известный предлагаемый способ, является весьма сомнительным.

В работе S.P. Loehertz [20] был предложен способ сушки с использованием цилиндрического нагревательного элемента. В данной статье описывается сушильное устройство для прессования и сушки шпона на конвейере. Установка устанавливается в непосредственном контакте, шпон нагревается с обеих сторон лентой для шпона, а сушка шпона производится вращением нагревательного барабана. В эксперименте, проведенном автором, использовался шпон толщиной 0,8 мм. Конструкция и принцип действия этого сушильного оборудования не позволяют использовать его для сушки материалов большой толщины.

### Выводы

Результаты представленных исследований показывают, что люди все больше и больше интересуются предварительной обработкой в производстве клееной древесины. Обработка шпона может значительно повысить эксплуатационные характеристики фанеры и, как следствие, расширить области ее возможного использования.

### Conflict of Interest

None declared.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Список литературы / References

1. Сафиуллина А.Х. Технология предварительной обработки древесного наполнителя озоном в производстве композиционных материалов / А.Х. Сафиуллина, Р.Р. Сафин, Ш.Р. Мухаметзянов // Актуальные проблемы лесного комплекса – 2020.
2. Шамаев В.А. Получение модифицированной древесины химико-механическим способом и исследование ее свойств / В.А. Шамаев // Лесотехнический журнал. – 2015. – № 4. – С. 177–187.
3. Шамаев В.А. Исследование склеивания фанеры с применением нанокристаллической целлюлозы / В.А. Шамаев, Е.М. Разиньков, Т.Л. Ищенко и др. // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 1. – С. 151–155.
4. Попов В.М. Влияние времени обработки клея в магнитном поле и температуры на прочность клеевых соединений древесины / В.М. Попов // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 75 (01). – С. 1034–1043.
5. Попов В.М. Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности / В.М. Попов, А.В. Иванов // Лесной вестник. – 2007. – № 4. – С. 89–91.
6. Попов В.М. Влияние магнитного и электрического полей на прочность клееной древесины / В.М. Попов, М.А. Шендриков, А.В. Иванов и др. // Лесной вестник. – 2009. – № 4. – С. 122–126.
7. Попов В.М. Клеевые соединения древесины повышенной прочности на основе магнитообработанных клеев / В.М. Попов, А.В. Латынин, Е.Н. Лушникова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2013. – № 5. – С. 293–296.
8. Попов В.М. К созданию клеевых соединений повышенной прочности / В.М. Попов, А.П. Новиков // Современные инновации в науке и технике. – 2014. – Том 3. – С. 332–334.
9. Мозговой Н.В. Прочность клеевых соединений древесины на основе электрообработанных клеев / Н.В. Мозговой // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №75 (G1). – С. 426 – 436.
10. Попов В.М. Получение клееной древесины повышенной прочности на основе клея, модифицированного электрическим полем / В.М. Попов, А.В. Латынин, А.Н. Швырев // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6. – С. 455–459.
11. Агеева Т.С. Совершенствование технологии комбинированной строительной фанеры на основе физико-механической модификации лущеного шпона : диссертация ... кандидата технических наук : 05.21.05 / Т.С. Агеева – Екатеринбург, 2013. – 154 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/2084

12. Хмелев В.Н. Исследование эффективности ультразвуковой сушки [Электронный ресурс] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.В. Барсуков и др. // Электронный журнал «Техническая акустика» – 2009 – URL: <https://www.ejta.org/ru/2009> (дата обращения: 22.06.2022)

13. Зиятдинов Р.Р. Технология производства влагостойкой фанеры из термомодифицированного шпона: Дис. канд. техн. наук. / Р.Р. Зиятдинов – Казань, 2013. – 170 с.

14. Park B.-D. Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios / B.-D. Park // Journal of Applied Polymer Science. – 2008. – Vol. 108. – pp. 2045 – 2051.

15. Koch P. Techniques for Drying Thick Southern Pine Veneer. / P. Koch // Forest Products Journal – 1964.

16. Paajanen O. Results from experiments with a new veneer contact drying technology / O. Paajanen, M. Kairi // World Conference on Timber Engineering, July 15-19 – 2012.

17. Supplee A.E. High power microwave systems / A.E. Supplee // Journal of Microwave Power. – 1966. – V. 1. – №. 3. – pp. 89-96.

18. Jeppson M.R. The evolution of industrial microwave processing in the United States / M.R. Jeppson // Journal of Microwave Power. – 1968. – vol. 3. – №. 1. – pp. 29-38.

19. Adachi K. Water removal of wet veneer by roller pressing / K. Adachi, M. Inoue, K. Kanayama et al. // The Japan Wood Research Society – 2004.

20. Hsu W.E. Improved method of making dimensionally stable composite board and composite board produced by such method / W.E. Hsu – Canadian Patent No. 1215510 – 1986

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Safiullina A.H. Tekhnologiya predvaritel'noj obrabotki drevesnogo napolnitelya ozonom v proizvodstve kompozicionnyh materialov [Technology of preprocess of wood filler with ozone in the production of composite materials] / A.H. Safiullina, R.R. Safin, Sh.R. Mukhametzyanov // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Relevant problems of the forest complex] – 2020. [in Russian]

2. Shamaev V.A. Poluchenie modifitsirovannoj drevesiny himiko-mekhanicheskim sposobom i issledovanie ee svoystv [Obtaining modified wood by chemical-mechanical method and research of its properties] / V.A. Shamaev // Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Journal]. – 2015. – № 4. – pp. 177–187. [in Russian]

3. Shamaev V.A. Issledovanie skleivaniya fanery s primeneniem nanokristallicheskoj cellyulozy [Research of plywood bonding using nanocrystalline cellulose] / V.A. Shamaev, E.M. Razinkov, T.L. Ishchenko et al. // Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Journal]. – 2014. – No. 1. – pp. 151–155. [in Russian]

4. Popov V.M. Vliyanie vremeni obrabotki kleya v magnitnom pole i temperatury na prochnost' kleevykh soedinenij drevesiny [Influence of glue processing time in a magnetic field and temperature on the strength of wood glue joints] / V.M. Popov // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific Journal of KSAU]. – 2012. – № 75 (01). – pp. 1034–1043. [in Russian]

5. Popov V.M. Intensivnaya tekhnologiya polucheniya kleenoi drevesiny povyshennoj prochnosti [Intensive technology for obtaining glued wood of increased strength] / V.M. Popov, A.V. Ivanov // Lesnoy vestnik [Forestry bulletin]. – 2007. – No. 4. – pp. 89-91. [in Russian]

6. Popov V.M. Vliyanie magnitnogo i elektricheskogo polej na prochnost' kleenoi drevesiny [The influence of magnetic and electric fields on the strength of glued wood] / V.M. Popov, M.A. Shendrikov, A.V. Ivanov et al. // Lesnoy vestnik [Forestry bulletin]. – 2009. – No. 4. – pp. 122–126. [in Russian]

7. Popov V.M. Kleevye soedineniya drevesiny povyshennoj prochnosti na osnove magnitnoobrabotannykh kleev [Adhesive joints of high-strength wood based on magnetically processed adhesives] / V.M. Popov, A.V. Latynin, E.N. Lushnikova // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. – 2013. – No. 5. – pp. 293–296. [in Russian]

8. Popov V.M. K sozdaniyu kleevykh soedinenij povyshennoj prochnosti [On the creation of high-strength adhesive joints] / B.M. Popov, A.P. Novikov // Sovremennye innovacii v nauke i tekhnike [Modern innovations in science and technology]. – 2014. – Volume 3. – pp. 332-334. [in Russian]

9. Mozgovoy N.V. Prochnost' kleevykh soedinenij drevesiny na osnove elektroobrabotannykh kleev [Strength of adhesive joints of wood basis on electric process adhesives] / N.V. Mozgovoy // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific journal of KSAU]. – 2012. – No. 75 (G1). – pp. 42b–436. [in Russian]

10. Popov V.M. Poluchenie kleenoi drevesiny povyshennoj prochnosti na osnove kleya, modifitsirovannogo elektricheskim polem [Obtaining high-strength glued wood based on glue modified by an electric field] / V.M. Popov, A.V. Latynin, A.N. Shvyrev // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. – 2012. – No.6. – pp. 455–459. [in Russian]

11. Ageeva T.S. Sovershenstvovanie tekhnologii kombinirovannoj stroitel'noj fanery na osnove fiziko-mekhanicheskoj modifikacii lushchenogo shpona [Improving the technology of combined construction plywood based on physical and mechanical modification of peeled veneer]: dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 05.21.05 / Ageeva T.S. – Yekaterinburg, 2013. – 154 p.: ill. RGB OD, 61 13-5/2084 [in Russian]

12. Khmelev V.N. Issledovanie effektivnosti ul'trazvukovoj sushki [Investigation of the effectiveness of ultrasonic drying] [Electronic resource] / V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.V. Barsukov et al. // Elektronnyj zhurnal «Tekhnicheskaya akustika» [Electronic journal "Technical Acoustics"] – 2009. – URL: <https://www.ejta.org/ru/2009> (accessed: 22.06.2022) [in Russian]

13. Ziatdinov R.R. Tekhnologiya proizvodstva vlagostojkoj fanery iz termomodifitsirovannogo shpona: [Technology of production of moisture-resistant plywood from thermomodified veneer]: Dis. Candidate of Technical Sciences / R.R. Ziatdinov – Kazan, 2013. – 170 p. [in Russian]

14. Park B.-D. Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios / B.-D. Park // Journal of Applied Polymer Science. – 2008. – Vol. 108. – pp. 2045 – 2051.

15. Koch P. Techniques for Drying Thick Southern Pine Veneer. / P. Koch // Forest Products Journal – 1964.

16. Paajanen O. Results from experiments with a new veneer contact drying technology / O. Paajanen, M. Kairi // World Conference on Timber Engineering, July 15-19 – 2012.
  17. Supplee A.E. High power microwave systems / A.E. Supplee // Journal of Microwave Power. – 1966. – V. 1. – №. 3. – pp. 89-96.
  18. Jeppson M.R. The evolution of industrial microwave processing in the United States / M.R. Jeppson // Journal of Microwave Power. – 1968. – vol. 3. – №. 1. – pp. 29-38.
  19. Adachi K. Water removal of wet veneer by roller pressing / K. Adachi, M. Inoue, K. Kanayama et al. // The Japan Wood Research Society – 2004.
  20. Hsu W.E. Improved method of making dimensionally stable composite board and composite board produced by such method / W.E. Hsu – Canadian Patent No. 1215510 – 1986
- 
-