

УДК 674-419.32

И. И. Веретиков

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Произведены опытные исследования по выявлению степени влияния влажностных факторов на значения предела прочности при скалывании образцов фанеры различных марок, а также сквозное прозвучивание образцов фанеры до и после вымачивания на произвольной базе с контактной смазкой при помощи измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2». Выполнен анализ полученных данных, построена и проанализирована графическая зависимость, сделаны выводы о влиянии влажностных факторов на прочностные значения клеевых материалов и актуальность использования метода неразрушающего контроля.

Оценка прочностных характеристик клеевого соединения осуществлялась на образцах фанеры до и после вымачивания. Для оценки материала методом неразрушающего контроля был использован измеритель времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2», предназначенный для оценки свойств и дефектоскопии твердых материалов по времени и скорости распространения ультразвука.

Среди прочностных характеристик клеевых соединений для исследования выбран предел прочности на скалывание. Испытания проводились согласно ГОСТ 9624-93. По результатам выполненной работы установлено, что увлажнение образцов фанеры марок ФК и ФСФ приводит к снижению предела прочности при скалывании. Причем данный показатель ниже у фанеры марки ФК. Также в результате расчета (по заданным коэффициентам полинома, связывающим прочность со скоростью ультразвука) отмечено снижение предела прочности при скалывании образцов фанеры после увлажнения, установлена функциональная связь между методами разрушающего и неразрушающего контроля качества фанерной продукции.

Ключевые слова: клеевое соединение, фанера, неразрушающий контроль, прочность, прозвучивание образцов, коэффициент корреляции.

I. I. Veretikov

Belarusian State Technological University

**DETERMINATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS
OF PLYWOOD PRODUCTS NON-DESTRUCTIVE TESTING METHOD**

Produced a pilot study on the effect of humidity on factors of the limit values L_a of tensile shear specimens of plywood of various brands, as well as end-to-end testing of plywood samples before and after soaking on an arbitrary basis with the contact lubricant with time meter and the speed of ultrasound "Pulsar-2". The analysis of the obtained data, constructed and analyzed the graphical dependence of the findings on the impact of moisture factors on the strength values of laminated materials and the relevance of the use of non-destructive testing method.

Evaluation of strength characteristics of adhesive joints were carried out on samples of plywood before and after soaking. For the evaluation of material by nondestructive method was used, measuring time and velocity of ultrasound "Pulsar-2", designed to evaluate the properties and destructive testing of solid materials at the time and speed of ultrasound.

Among the strength characteristics of adhesive joints were selected for the study the ultimate strength of the shear. The tests were carried out according to GOST 9624-93. According to the results of work performed established that the hydration of samples of brands of urea-formaldehyde plywood and phenol-formaldehyde plywood leads to a decrease in tensile strength for shearing. And this show tel below the plywood of mark. Also, the result of the calculation (for given coefficients of polynoma linking strength with speed of ultrasound) a decrease in the limit of strongly-STI for shearing plywood samples after moistening, the functional relation between the methods of destructive and nondestructive quality control of plywood products.

Key words: adhesive bonding plywood, non-destructive testing, durability, testing of samples, correlation coefficient.

Введение. Конструкции из фанеры, склеенные синтетическими фенолформальдегидными и карбамидными клеями, применяют для по-

крытий производственных зданий, складов, ангаров, театральных, выставочных и спортивных сооружений. Фанеру на карбамидных клеях

используют для встроенной мебели и отделки интерьера [1].

Преимущества фанеры перед пиломатериалами следующие: имеет почти равную прочность во всех направлениях; мало коробится и растрескивается; легко гнется и удобна для перевозки; сквозных трещин в ней не бывает; листы фанеры имеют большие размеры [2].

Фанеру используют в строительстве как материал для обшивки каркасов ограждающих конструкций, в сборно-разборных зданиях, для опалубки, изготовления несущих конструкций, однако при эксплуатации фанера может подвергаться атмосферным воздействиям (наружная обшивка стеновых панелей) и воздействиям агрессивной среды внутри помещений [3].

Водостойкость и атмосферостойкость – это основные показатели, определяющие эксплуатационные характеристики клееной древесины [4]. Повышенная влажность ускоряет процессы старения, которые обусловлены нарушением структуры и строения макромолекул связующего вещества [5]. Особенно это важно для карбамидоформальдегидных смол, отличительной особенностью которых является повышенная чувствительность к воздействию влаги, проявляющейся в гидродинамическом разрушении клеевых соединений [6].

Для оценки качественных характеристик продукции наряду со стандартными широкое применение получили неразрушающие методы контроля [7], не требующие вырезки образцов или разрушения готовых изделий, позволяющие избежать больших потерь времени и материальных затрат, обеспечить частичную или полную автоматизацию операций контроля при одновременном значительном повышении качества и надежности изделий [8].

Неразрушающие методы контроля (НМК), или дефектоскопия, – это обобщающее название методов контроля материалов [9], используемых для обнаружения нарушения сплошности или однородности макроструктуры, отклонений химического состава и других целей, не требующих разрушения образцов в целом [10].

Целью настоящей работы является определение влияния влаги на прочностные качества клееной древесины, изучение неразрушающего метода контроля качества и установление корреляционной зависимости между данными методами.

Основная часть. Среди прочностных характеристик клеевого соединения для исследования был выбран предел прочности на скалывание.

Для определения предела прочности при скалывании согласно ГОСТ 9624 изготавливали образцы фанеры марок ФК и ФСФ [11]. Их отбор и подготовку к испытаниям осуществляли

согласно ГОСТ 9620 [12]. Форма и размеры образцов представлены на рис. 1.

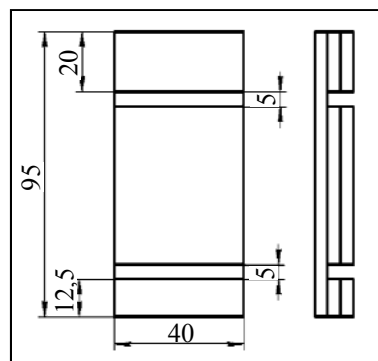


Рис. 1. Форма и размеры образцов фанеры

Оценка прочностных характеристик клеевого соединения проводилась на образцах фанеры до и после увлажнения согласно ГОСТ 9624 и при помощи метода неразрушающего контроля.

Вымачивание образцов фанеры марок ФК и ФСФ выполняли партиями в количестве 10 шт. в течение 24 ч в воде при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. После увлажнения перед испытанием образцы выдерживали (10 ± 1) мин.

Оценку методом неразрушающего контроля проводили при сквозном прозвучивании образцов фанеры до и после вымачивания с датчиками сквозного прозвучивания на произвольной базе с контактной смазкой. Регистрацию данных (времени и скорости распространения ультразвука) получали на приборе «Пульсар-2», который предназначен для дефектоскопии твердых материалов по времени и скорости распространения принимаемых импульсов (рис. 2).



Рис. 2. Измеритель времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2»

Расчет прочности образцов после прозвучивания производился по формуле

$$R = A_0 + A_1 \cdot V + A_2 \cdot V^2 + A_3 \cdot V^3, \quad (1)$$

где R – прочность, МПа; V – числовое значение скорости ультразвука; A_i – коэффициенты, заносимые в прибор в экспоненциальной форме в МПа.

Также была определена влажность контрольных образцов сушильно-весовым способом. Данные приведены в табл. 1.

Таблица 1
Влажность контрольных образцов

Вид	m , гр	m_0 , гр	Абсолютная влажность W , %	
			опытная	среднее значение
1ФК	10,92	10,20	7,06	7,80
2ФК	10,96	10,23	7,10	
3ФСФ	10,25	9,50	7,90	7,70
4ФСФ	10,32	9,60	7,50	

Была определена абсолютная влажность образцов фанеры после вымачивания, осуществлены замеры партии образцов в количестве 20 шт. Среднее значение влажности образцов фанеры марки ФК – 65,42%; фанеры марки ФСФ – 59,33%.

Предел прочности при скалывании по клеевому слою $\tau_{ск}$ и по древесине $\tau_{др}$ вычисляли, в МПа, по следующим формулам:

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l_1}; \quad (2)$$

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l_2}; \quad (3)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н; b – ширина плоскости скалывания, мм; l_1 и l_2 – длина плоскости скалывания для 1 и 2.

За результат испытаний каждой серии образцов фанеры принимали среднее арифметическое показателей предела прочности при скалывании образцов фанеры марок ФК и ФСФ до и после вымачивания. Полученные данные отражены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты испытаний образцов

Наименование марки фанеры	Предел прочности при скалывании, МПа
Контрольные испытания образцов	
Фанера марки ФК	1,580
	1,850
Фанера марки ФСФ	2,280
	2,260
Испытания образцов после вымачивания	
Фанера марки ФК	1,748
Фанера марки ФСФ	2,137

Расчетная формула для определения скорости распространения ультразвука, м/с

$$V = \frac{l}{t} \cdot 10^3, \quad (4)$$

где l – расстояние между центрами зон установки преобразователей, мм; t – время распространения ультразвука, мкс.

Сквозное прозвучивание образцов методом неразрушающего контроля было произведено на образцах фанеры марок ФК и ФСФ до и после вымачивания, осуществляемого в течение 24 ч. Предварительно перед прозвучиванием были замерены толщины исследуемых образцов с целью определения расстояния между центрами поверхностей ультразвуковых преобразователей (излучателя и приемника), так называемой базы прозвучивания и последующего ввода полученных значений в прибор. Исследование образцов осуществлялось на серии в количестве 20 шт. каждой марки фанеры до и после влажностного воздействия с использованием датчиков сквозного прозвучивания на произвольной базе с использованием специальной контактной смазки. Следует отметить, что формирование полученного результата происходит по автоматически выполняемой серии 6 – 10 измерений [13]. Таким образом, были зафиксированы скорость и время распространения ультразвука. Данные отражены в табл. 3.

Таблица 3
Результаты испытаний после прозвучивания

Скорость распространения ультразвука, м/с	Время распространения звука, мкс	Толщина образца, мм
Результаты до вымачивания образцов (марки фанеры ФК и ФСФ)		
406	9,85	4
Результаты после вымачивания образцов (марки фанеры ФК и ФСФ)		
507	9,85	5
Промежуточные значения		
304	9,85	3

После получения данных скорости распространения ультразвука и коэффициентов в экспоненциальной форме при использовании метода неразрушающего контроля был произведен расчет прочностных характеристик образцов фанеры марок ФК и ФСФ по формуле (1). Также по полученным расчетным значениям построена следующая графическая зависимость, представленная на рис. 3.

Для оценки тесноты и взаимосвязи между значениями предела прочности при скалывании образцов фанеры до и после вымачивания и полученными данными скорости ультразвука при прозвучивании образцов были рассчитаны коэффициенты корреляции по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - x_{cp}) \cdot (y_i - y_{cp})}{\sqrt{\sum (x_i - x_{cp})^2 \cdot \sum (y_i - y_{cp})^2}}, \quad (5)$$

где x_i – значения переменной x ; y_i – значения переменной y ; x_{cp} – среднее арифметическое для переменной x ; y_{cp} – среднее арифметическое значение для переменной y .

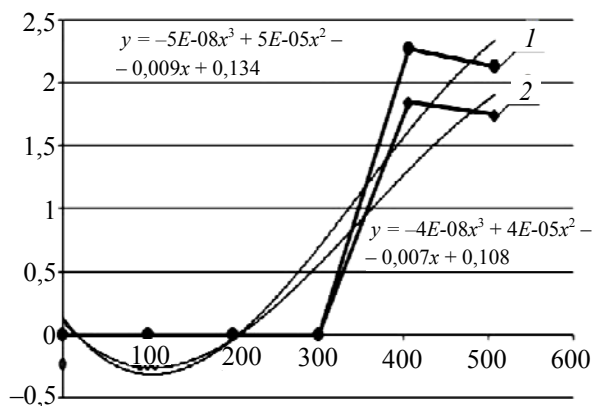


Рис. 3. График зависимости предела прочности от скорости распространения ультразвука: 1 – марка фанеры ФСФ; 2 – марка фанеры ФК

Коэффициент корреляции – безразмерная величина, которая может принимать как положительные, так и отрицательные значения, но по абсолютной величине всегда меньше 1 [14].

Результат расчета показал, что по абсолютной величине коэффициент корреляции находится в пределах от 0,95 до 1,0.

Заключение. Воздействие влаги является одной из причин, по которым снижаются прочностные характеристики клееной древесины. Именно повышенная влажность обуславливает ускорение процессов старения, нарушение структуры и строение макромолекул связующего вещества. Эта особенность очень актуальна для карбамидоформальдегидных смол, отличительной особенностью которых является повышенная чувствительность к воздействию влаги, проявляющаяся в гидролитическом разрушении клеевых соединений [15].

В результате проведенных исследований увлажнение образцов фанеры путем вымачива-

ния в течение 24 ч отразилось на уменьшении предела прочности при скалывании образцов фанеры марок ФК и ФСФ путем разрушающего контроля. При этом для образцов фанеры марки ФК снижение показателей отмечается в наибольшей степени на 6,27%; для образцов фанеры марки ФСФ – снижение на 5,51%.

При изучении неразрушающего контроля образцов, а именно их прозвучивании с использованием прибора для регистрации скорости и времени распространения ультразвука, было также отмечено снижение прочностных показателей образцов, подвергнутых влажностному воздействию [16]. В результате последнего проведенного расчета снижение данных показателей для марки ФК произошло примерно на 15,48%; марки ФСФ – примерно на 27,84%.

В свою очередь, установление взаимосвязи данных методов контроля клееной продукции является основой научного подхода к изучению влияния различных эксплуатационных факторов на прочностные показатели фанеры [17].

Практически функциональную взаимосвязь между данными способами определения прочностных характеристик клееной продукции в зависимости от влияния определенных факторов подтверждает и нахождение коэффициента корреляции. Данный коэффициент служит для оценки тесноты взаимосвязи выходной величины от входной и представляет собой безразмерную величину, которая принимает как положительные, так и отрицательные значения, но по абсолютной величине всегда меньше 1.

Полученное значение коэффициента корреляции находится в диапазоне от 0,95 до 1,0. Данный диапазон попадания характеризует практически функциональную связь между входной и выходной величинами.

Таким образом, неразрушающий метод контроля (сквозное прозвучивание) имеет ряд преимуществ: быстрота и скорость исследования, не требуется разрушение исследуемых образцов, а установленная функциональная связь при определении коэффициента корреляции подтверждает применимость и практическую значимость данного способа контроля фанеры.

Литература

1. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. М.: Лесная пром-сть, 1981. 112 с.
2. Хрулев В. М. Испытание фанеры. М.: Гослесбумиздат, 1960. 72 с.
3. Хрулев В. М. Долговечность клееной древесины. М.: Лесная пром-сть, 1971. 160 с.
4. Иванов Ю. М., Лепарский Л. О., Сенчило Ю. Я. Прочность и напряжения клеевых соединений древесины. М.: Лесная пром-сть, 1973. 160 с.
5. Веретиков И. И. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочностные показатели клеевых соединений // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 170–173.

6. Винокуров А. А., Докторов И. А., Лавров М. Ф. Влияние отрицательной температуры и влаги на прочность цельной и клееной древесины // ВЕСТНИК ЯГУ. 2006. Т. 3, № 3. С. 71–77.
7. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. 2012. № 11. С. 20–23.
8. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: СТО 36554501-009-2007. М.: ФГУП «НИЦ “Строительство”», 2007.
9. Савицкий С. С. Методы и средства неразрушающего контроля: учеб.-метод. пособие. Минск: БНТУ, 2012. 183 с.
10. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 243 с.
11. ГОСТ 9620-94. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании: Введ. 01.01.96. М.: Изд-во стандартов, 1995. 8 с.
12. ГОСТ 9624-93. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании: Введ. 01.01.95. М.: Изд-во стандартов, 1994. 10 с.
13. Ефимов В. А., Петрова А. П., Аниховская Л. И. Ускоренные испытания клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 7.
14. Федосенко И. Г. Основы научных исследований и инновационная деятельность. Минск: БГТУ, 2016. 97 с.
15. Рындин В. О. Исследование старения древесных композитов под воздействием различных эксплуатационных факторов // Сборник авторефератов магистров ТГТУ. 2006. № 7. С. 21–34.
16. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1. СПб.: ГУАП. 2007. 137 с.
17. Кашубский Н. В., Сельский А. А., Смолин А. Ю. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009.

References

1. Kirillov A. N. *Konstruktionsnaya fanera* [Construction plywood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1981. 112 p.
2. Khrulev V. M. *Ispytaniye fanery* [Plywood tests]. Moscow, Goslesbumizdat. Publ., 1960. 72 p.
3. Khrulev V. M. *Dolgovechnost' kleenoy drevesiny* [The durability of laminated wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1971. 160 p.
4. Ivanov Yu. M., Leparskiy L. O., Senchilo Yu. Ya. *Prochnost' i napryazheniya kleevykh soyedineniy drevesiny* [Strength and stress of glued wood joints]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1973. 160 p.
5. Veretikov I. I. Effects of temperature and moisture actions on strength factors of adhesive joints. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 170–173 (In Russian).
6. Vinokurov A. A., Doktorov I. A., Lavrov M. F. Effect of negative temperature and moisture on the strength of solid and glued wood. *Vestnik YAGU* [Yakut State University], 2006, vol. 3, no. 3, pp. 71–77 (In Russian).
7. Berbekov Zh. V. Non-destructive methods for controlling the strength of concrete. *Molodoy uchenyy* [Young Scientists], 2012, no. 11, pp. 20–23 (In Russian).
8. СТО 36554501-009-2007. Concrete is the ultrasonic method for determining the strength. Moscow, FGUP “NITS "Stroitel'stvo"”, 2007 (In Russian).
9. Savitskiy S. S. *Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya* [Methods and means of non-destructive testing]. Minsk, BNTU Publ., 2012. 183 p.
10. Kanevskiy I. N. *Nerazrushayushchiye metody kontrolya* [Non-destructive testing methods]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2007. 243 p.
11. GOST 9620-94. Wood laminated glued. Sampling and general requirements for testing. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1995. 8 p. (In Russian).
12. GOST 9624-93. Wood laminated glued. Method for determining the breaking strength. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1994. 10 p. (In Russian).
13. Yefimov V. A., Petrova A. P., Anikhovskaya L. I. Accelerated tests of adhesive joints. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Germetics. Technologies], 2005, no. 7 (In Russian).
14. Fedosenko I. G. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i innovatsionnaya deyatel'nost'* [Fundamentals of scientific research and innovation activities]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 97 p.
15. Ryndin V. O. Study of the aging of wood composites under the influence of various operational factors. *Sbornik avtoreferatov magistrov TGTU* [Collection of Master's Abstracts of TGTU], 2006, no. 7, pp. 21–34 (In Russian).

16. Sudarikova E. V. *Nerazrushayushchiy kontrol' v proizvodstve* [Non-destructive testing production]. St. Petersburg, GUAP Publ., 2007. 137 p.

17. Kashubskiy N. V., Sel'skiy A. A., Smolin A. Y. *Nerazrushayushchiye metody kontrolya materialov i izdeliy* [Non-destructive methods of control of materials and products]. Krasnoyarsk, IPK SFU Publ., 2009.

Информация об авторе

Веретиков Игорь Иванович – магистр технических наук, ассистент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: veretikov_i_i@belstu.by

Information about the author

Veretikov Igor' Ivanovich – Master of Engineering, assistant lecturer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: veretikov_i_i@belstu.by

Поступила 20.04.2017