

УДК 674-419.32

**И. И. Веретиков**

Белорусский государственный технологический университет

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНОГО И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ**

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

Среди прочностных характеристик клеевых соединений для исследования выбран предел прочности на скалывание. Испытания проводились согласно ГОСТ 9624-93. По результатам выполненной работы установлено, что температурно-влажностное воздействие образцов фанеры марок ФК и ФСФ приводит к снижению предела прочности при скалывании. Также в результате расчета (по заданным коэффициентам полинома, связывающим прочность со скоростью ультразвука) 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

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRENGTH INDICATORS OF PLYWOOD PRODUCTS WHEN STUDYING THE TEMPERATURE AND MOISTURE EXPOSURE BY USING THE STANDARD AND NON-DESTRUCTIVE CONTROL METHODS**

Produced a pilot study on the effect of temperature and moisture 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 temperature and moisture effect 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 temperature and moisture factors on the strength values of laminated materials and the relevance of the use of non-destructive testing method.

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 temperature and moisture effect of samples of brands of urea-formaldehyde plywood and phenol-formaldehyde plywood leads to a decrease in tensile strength for shearing. Also, the result of the calculation (for given coefficients of polynoma linking strength with speed of ultrasound) 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, клееные синтетическими фенолформальдегидными и карбамидными клеями, применяют для покрытий производственных зданий, складов, ангаров, театральных, выставочных и спортивных сооружений. Фанеру на карбамидных клеях используют для встроенной мебели и отделки интерьера.

Преимущества фанеры перед пиломатериалами следующие: имеет почти равную прочность во всех направлениях; мало коробится и растрескивается; легко гнется и удобна для перевозки [1].

Клеевое соединение – сложная система, надежность которой зависит от сохранности адгезионных и когезионных связей. В оценке долго-

вечности клеевых соединений преимущественное значение имеет определение их прочности [2].

Водостойкость и атмосферостойкость – это основные показатели, определяющие эксплуатационные характеристики клееной древесины [3]. Повышенная влажность ускоряет процессы старения, которые обусловлены нарушением структуры и строения макромолекул связующего вещества [4]. Особенно это важно для карбамидоформальдегидных смол, отличительной особенностью которых является повышенная чувствительность к воздействию влаги [5].

Наряду с этим немаловажную роль в определении долговечности клееной древесины играет определение термостойкости либо теплоустойчивости клея и древесины [6]. В связи с этим различают теплоустойчивость – сохранение механических свойств и термостойкость – сохранение структуры и химического состава полимера при нагревании [7]. К примеру, фенолформальдегидные клеи отличаются высокой тепло- и термостойкостью, карбамидные – малой термостойкостью.

Для оценки качественных характеристик продукции наряду со стандартными широкое применение получили неразрушающие методы контроля, не требующие 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, используемых для обнаружения нарушения сплошности или однородности макроструктуры, не требующих разрушения образцов в целом [9].

Поэтому целью настоящей работы является определение влияния температурно-влажностного воздействия на прочностные показатели клеевых соединений, 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 [10]. Их отбор и подготовку к испытаниям осуществляли согласно ГОСТ 9620 [11]. Форма и размеры образцов представлены на рис. 1.

Оценка прочностных характеристик клеевого соединения проводилась на образцах до и после температурно-влажностного воздействия согласно ГОСТ 9624 и при помощи метода неразрушающего контроля. Нагревание образцов

фанеры марки ФК и ФСФ производили партиями в количестве 10 шт. в течение 6 ч при температуре 40, 60, 80°C и влажности 20%.

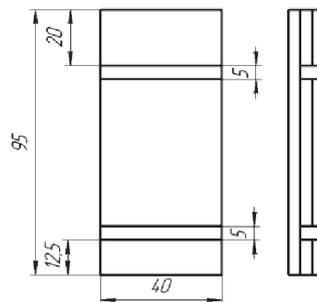


Рис. 1. Форма и размеры образцов фанеры

Оценку методом неразрушающего контроля проводили при сквозном прозвучивании образцов фанеры до и после нагревания 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 (рис. 2).



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

Расчет прочности  $R$ , МПа, 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  $A_i$  – коэффициенты, заносящиеся в прибор в экспоненциальной форме, МПа;  $V$  – числовое значение скорости ультразвука, м/с.

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

Таблица 1  
Влажность контрольных образцов

Вид	$m$ , г	$m_0$ , г	Абсолютная влажность $W$ , %	
			Опытная	Среднее значение
1ФК	7,810	7,300	6,91	6,64
2ФК	7,840	7,370	6,38	
3ФСФ	9,925	9,250	7,30	7,36
4ФСФ	9,400	8,750	7,43	

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

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

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

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

За результат испытаний каждой серии образцов фанеры принимали среднее арифметическое показателей предела прочности при скалывании образцов фанеры марок ФК и ФСФ до и после температурного воздействия. Также фиксировали изменение массы и формы нагреваемых образцов. Полученные данные отражены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты испытаний образцов на предел прочности при скалывании**

Температура нагревания, °С	Предел прочности при скалывании, МПа	
	Фанера марки ФК	Фанера марки ФСФ
20	1,85	2,28
40	1,28	1,32
60	1,22	1,58
80	1,10	1,25

Расчетная формула для определения скорости распространения ультразвука  $V$ , 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 марки ФК и ФСФ до и после температурно-влажностного воздействия. Предварительно перед прозвучиванием были замерены толщины образцов с целью определения расстояния между центрами рабочих поверхностей ультразвуковых преобразователей (излучателя и приемника), так называемой базы прозвучивания и последующего ввода полученных значений в прибор [12]. Данные отражены в табл. 3.

Исследование осуществлялось на образцах в количестве 10 шт. каждой марки фанеры до и после нагревания с использованием датчиков сквозного прозвучивания на произвольной базе

с использованием специальной контактной смазки. Следует отметить, что формирование полученного результата происходит по автоматически выполняемой серии из 6–10 измерений [13]. Таким образом, были зафиксированы скорость и время распространения ультразвука.

Таблица 3

**Результаты испытаний образцов фанеры марок ФК и ФСФ после прозвучивания**

Скорость распространения ультразвука, м/с	Время распространения звука, мкс	Толщина образца, мм
До нагревания образцов		
406	9,85	4
После нагревания при температуре 40°С и влажности 20%		
406	9,85	4
После нагревания при температуре 60°С и влажности 20%		
406	9,85	4
После нагревания при температуре 80°С и влажности 20%		
406	9,85	4
Промежуточные значения		
507	9,85	5
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 по формуле (1). Также по полученным расчетным значениям построена графическая зависимость, представленная на рис. 3.

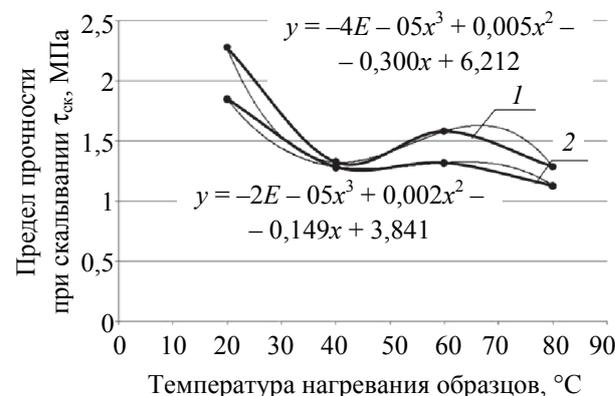


Рис. 3. График зависимости предела прочности от скорости распространения ультразвука: 1 – марка фанеры ФСФ; 2 – марка фанеры ФК

Для оценки взаимосвязи значений предела прочности при скалывании образцов фанеры до

и после вымачивания с 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  $x$ ;  $x_{cp}$  – среднее арифметическое для переменной  $x$ ;  $y_i$  – значения переменной  $y$ ;  $y_{cp}$  – среднее арифметическое значение для переменной  $y$ .

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 равен 0,71. Считается, если коэффициент корреляции находится в диапазоне от 0,50 до 0,75, то это характеризует среднюю функциональную связь [14].

**Заключение.** Таким образом, при длительном температурно-влажностном воздействии в диапазоне возможных в эксплуатации температур 40, 60 и 80°C и влажности 20% прочность соединений снижается либо из-за термодеструкции клеев (карбамидные), либо из-за термического ослабления древесины (фенольные клеи).

Выбор условий температурно-влажностной обработки фанеры обусловлен таким образом, чтобы значения равновесной влажности фанеры находились в пределах эксплуатационных норм [15].

Из диаграммы равновесной влажности древесины следует, что при температуре обрабатываемой среды 40–80°C и относительной влажности 20% равновесная влажность древе-

сины находится в пределах 6%. Таким образом, сушка образцов во время обработки и влажностные внутренние напряжения происходят не должны.

В результате проведенных исследований выявлено, что температурно-влажностное воздействие отразилось на уменьшении предела прочности образцов при скалывании путем разрушающего контроля.

При этом для образцов фанеры марки ФК снижение показателей отмечается в наибольшей степени на 40,32%; для образцов фанеры марки ФСФ – на 45,00%. Следует отметить, что первоначальные значения предела прочности при скалывании образцов фанеры ФСФ выше на 23,24% по сравнению с аналогичными испытаниями образцов фанеры марки ФК.

При изучении неразрушающего контроля образцов с использованием прибора для регистрации скорости и времени распространения ультразвука было отмечено, что характер изменения скорости ультразвука остается постоянным. Это характеризуется постоянным значением измеряемой базы прозвучивания [16].

Данный способ неразрушающего контроля имеет смысл при таком воздействии на образцы клеевых соединений, так как по полученным зависимостям с коэффициентами уравнений возможно получение значений прочности образцов в зависимости от скорости распространения ультразвука [17].

Установление взаимосвязи между данными методами контроля, а именно полученная величина коэффициента корреляции, подтверждает функциональную среднюю взаимосвязь и является основой научного подхода к изучению влияния различных эксплуатационных факторов на прочностные показатели фанеры.

### Литература

1. Хрулев В. М. Испытание фанеры. М.: Гослесбумиздат, 1960. 72 с.
2. Хрулев В. М. Долговечность клееной древесины. М.: Лесная пром-сть, 1971. 160 с.
3. Иванов Ю. М., Лепарский Л. О., Сенчило Ю. Я. Прочность и напряжения клеевых соединений древесины. М.: Лесная пром-сть, 1973. 160 с.
4. Веретиков И. И. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочностные показатели клеевых соединений // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 170–173.
5. 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.
6. Рындин В. О. Исследование старения древесных композитов под воздействием различных эксплуатационных факторов // Сборник авторефератов магистров ТГТУ. 2006. № 7. С. 21–34.
7. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. М.: Лесная пром-сть, 1981. 112 с.
8. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: СТО 36554501-009-2007. М.: Строительство, 2007. 13 с.
9. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля. Владивосток: ДВГТУ, 2007. 243 с.
10. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании: ГОСТ 9624-93. Введ. 01.01.95. М.: Изд-во стандартов, 1994. 10 с.
11. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании: ГОСТ 9620-94. Введ. 01.01.96. М.: Изд-во стандартов, 1995. 8 с.

12. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. 2012. № 11. С. 20–23.
13. Ефимов В. А., Петрова А. П., Аниховская Л. И. Ускоренные испытания клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 7. С. 1–12.
14. Федосенко И. Г. Основы научных исследований и инновационная деятельность. Минск: БГТУ, 2016. 97 с.
15. Кашубский Н. В., Сельский А. А., Смолин А. Ю. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 108 с.
16. Савицкий С. С. Методы и средства неразрушающего контроля. Минск: БНТУ, 2012. 183 с.
17. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве. СПб.: ГУАП, 2007. 137 с.

### References

1. Khrulev V. M. *Ispytaniye fanery* [Plywood tests]. Moscow, Goslesbumisdad Publ., 1960. 72 p.
2. Khrulev V. M. *Dolgovechnost' kleenoy drevesiny* [The durability of laminated wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 160 p.
3. Ivanov Yu. M., Leparskiy L. O., Senchilo Yu. Ya. *Prochnost' i napryazheniya kleevykh soyedineniy drevesiny* [Strength and stresses of glued wood joints]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 160 p.
4. Veretikov I. I. Effects of temperature and moisture actions on strength factors of adhesive joints. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 170–173 (In Russian).
5. 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* [Bulletin of YAGU], 2006, vol. 3, no. 3, pp. 71–77 (In Russian).
6. Ryndin V. O. Study of the aging of wood composites under the influence of various operational factors. *Sbornik avtoreferatov magistrrov TGTU* [Collection of Master's Abstracts of TGTU], 2006, no. 7, pp. 21–34 (In Russian).
7. Kirillov A. N. *Konstruksionnaya fanera* [Construction plywood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 112 p.
8. STO 36554501-009-2007. Concretes. The ultrasonic method for determining the strength. Moscow, Stroitel'stvo Publ., 2007. 13 p. (In Russian).
9. Kanevskiy I. N. *Nerazrushayushchiye metody kontrolya* [Non-destructive testing methods]. Vladivostok, DVGTV Publ., 2007. 243 p.
10. GOST 9624-93. Wood laminated glued. Method for determining the breaking strength. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1994. 10 p. (In Russian).
11. GOST 9620-94. Wood laminated glued. Sampling and general requirements for testing. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1995. 8 p. (In Russian).
12. Berbekov Zh. V. Non-destructive methods for controlling the strength of concrete. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2012, no. 11, pp. 20–23 (In Russian).
13. Yefimov V. A., Petrova A. P., Anikhovskaya L. I. Accelerated tests of adhesive joints. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technologies], 2005, no. 7, pp. 1–12 (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. Kashubskiy N. V., Sel'skiy A. A., Smolin A. Yu. *Nerazrushayushchiye metody kontrolya materialov i izdeliy* [Non-destructive methods of control of materials and products]. Krasnoyarsk: IPK SFU Publ., 2009. 108 p.
16. Savitskiy S. S. *Metody i sredstva nerazrusayushchego kontrolya* [Methods and means of non-destructive testing]. Minsk, BNTU Publ., 2012. 183 p.
17. Sudarikova Ye. V. *Nerazrushayushchiy kontrol' v proizvodstve* [Non-destructive testing in production]. St. Petersburg, GUAP Publ., 2007. 137 p.

### 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 11.03.2019