

УДК 674-419.32

**И. И. Веретиков**

Белорусский государственный технологический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ  
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Произведены опытные исследования по влиянию температурных факторов на значения предела прочности при скалывании образцов фанеры различных марок, а также сквозное прозвучивание образцов фанеры до и после температурного 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 температурных 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 температурное воздействие 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) 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

**THE APPLICATION NON-DESTRUCTIVE TESTING METHOD  
OF THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS  
ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF PLYWOOD PRODUCTS**

Produced a pilot study on the effect of temperature 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 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 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 effect of samples of brands of urea-formaldehyde plywood and phenol-formaldehyde plywood leads to a decrease in tensile strength for shearing. And this shows that below the plywood of mark. 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, театральные, 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 [14].

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 и температурным воздействиям [3].

Водостойкость и атмосферостойкость – это основные показатели, определяющие эксплуатационные характеристики клееной древесины [11]. Повышенная влажность ускоряет процессы старения, которые обусловлены нарушени-

ем структуры и строения макромолекул связующего вещества [17]. Особенно это важно для карбамидо-формальдегидных смол, отличительной особенностью которых является повышенная чувствительность к воздействию влаги [8].

Наряду с этим немаловажную роль в определении долговечности клееной древесины играет определение термостойкости либо теплостойкости клея и древесины. В связи с этим различают теплостойкость – сохранение механических свойств и термостойкость – сохранение структуры и химического состава полимера при нагревании [3]. К примеру, фенолформальдегидные клея 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 [1].

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 [2].

Поэтому целью настоящей работы является определение влияния температурного воздействия на прочностные качества клееной древесины, изучение неразрушающего метода контроля качества и установление корреляционной зависимости между данными методами.

**Основная часть.** Среди прочностных характеристик клееного 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 [9]. Форма и размеры образцов представлены на рис. 1.

Оценка прочностных характеристик клееного соединения проводилась на образцах фанеры до и после нагревания согласно ГОСТ 9624 и при помощи метода неразрушающего контроля. Нагревание образцов фанеры марки ФК и ФСФ производили партиями в количестве 10 шт. в течение 3 ч при температуре 40, 60, 80 и 100°С.

Оценку методом неразрушающего контроля проводили при сквозном прозвучивании образ-

цов 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

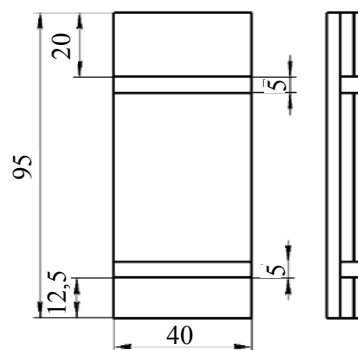


Рис. 1. Форма и размеры образцов фанеры

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, м/с;  $A_i$  – коэффициенты, заносимые в прибор в экспоненциальной форме, МПа.



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

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

Таблица 1

**Влажность контрольных образцов**

| Вид  | $m$   | $m_0$ | 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  $\tau_{ск}$  и по древесине  $\tau_{др}$  вычисляли (в МПа) по 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.

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.

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.

Таблица 2

#### Результаты испытаний образцов

| Температура нагрева, °С | Предел прочности при скалывании, МПа |                  |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------|
|                         | Фанера марки ФК                      | Фанера марки ФСФ |
| 20                      | 1,85                                 | 2,88             |
| 40                      | 1,45                                 | 1,72             |
| 60                      | 1,32                                 | 1,58             |
| 80                      | 1,36                                 | 1,69             |
| 100                     | 1,38                                 | 1,80             |

Сквозное прозвучивание образцов методом неразрушающего контроля было произведено на образцах фанеры марки ФК и ФСФ до и после нагревания. 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. Данные отражены в табл. 3.

Исследование образцов осуществлялось на серии в количестве 20 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 6–10 измерений [7]. Таким образом, были зафиксированы скорость и время распространения ультразвука.

Таблица 3

#### Результаты испытаний после прозвучивания

| Скорость распространения ультразвука, м/с  | Время распространения звука, мкс | Толщина образца, мм |
|--|----------------------------------|---------------------|
| Результаты до нагревания образцов (марки фанеры ФК и ФСФ)                          |                                  |                     |
| 406  | 9,85                             | 4                   |
| Результаты после нагревания образцов при температуре 40°С (марки фанеры ФК и ФСФ)  |                                  |                     |
| 406  | 9,85                             | 4                   |
| Результаты после нагревания образцов при температуре 60°С (марки фанеры ФК и ФСФ)  |                                  |                     |
| 406  | 9,85                             | 4                   |
| Результаты после нагревания образцов при температуре 80°С (марки фанеры ФК и ФСФ)  |                                  |                     |
| 406  | 9,85                             | 4                   |
| Результаты после нагревания образцов при температуре 100°С (марки фанеры ФК и ФСФ) |                                  |                     |
| 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.

Для оценки тесноты и взаимосвязи между значениями предела прочности при скалывании образцов фанеры до и после нагревания 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  $y$ .

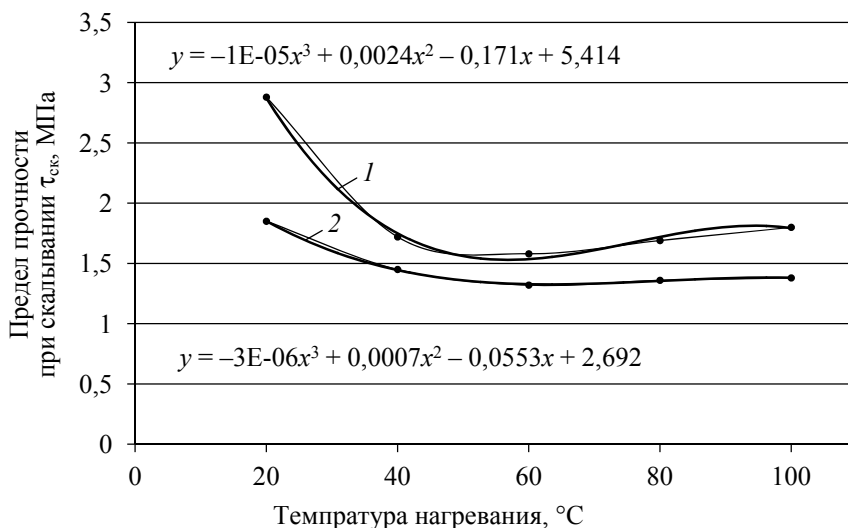


Рис. 3. График зависимости предела прочности от температуры нагрева: 1 – марка фанеры ФСФ; 2 – марка фанеры ФК

Коэффициент корреляции – безразмерная величина, которая может принимать как положительные, так и отрицательные значения, но по абсолютной величине всегда меньше 1 [16].

Результат расчета показал, что по абсолютной величине коэффициент корреляции равен 0,94. Считается, если коэффициент корреляции находится в диапазоне от 0,75 до 0,95, то это характеризует сильную связь [16].

**Заключение.** Таким образом, при длительном нагревании в диапазоне возможных в эксплуатации температур (50–100°C) прочность соединений снижается либо из-за термодеструкции клеев (карбамидные), либо из-за термического ослабления древесины (фенольные клея).

В результате проведенных исследований выявлено, что нагревание образцов фанеры марки ФК и ФСФ путем выдерживания при температуре 40, 60, 80 и 100°C в течение 3 ч отразилось на уменьшении их предела прочности при скалывании путем разрушающего контроля. При этом для образцов фанеры марки ФК снижение показателей отмечается в наибольшей степени, на 28,64%; для образцов фанеры марки ФСФ – снижение на 45,1%. Следует отметить, что первоначальные значения предела прочности при скалывании образцов фанеры ФСФ выше на 55,67% по сравнению с аналогичными испытаниями образцов фанеры марки ФК.

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

Однако данный способ неразрушающего контроля имеет смысл при данном типе воздействия на образцы клеевых соединений, так как по полученным зависимостям с коэффициентами уравнений в дальнейшем возможно получение значений прочности образцов в зависимости от скорости распространения ультразвука.

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

Следует отметить, что термообработка испытуемых образцов не должна сопровождаться сильным изменением их влажности. В противном случае возникающие в фанере влажностные внутренние напряжения будут искажать результат испытания.

### Литература

1. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: СТО 36554501-009-2007. М.: Научно-исследовательский центр «Строительство», 2007. 13 с.
2. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля. Владивосток: ДВГТУ, 2007. 243 с.
3. Хрулев В. М. Долговечность клееной древесины. М.: Лесная промышленность, 1971. 160 с.

4. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. 2012. № 11. С. 20–23.
5. Савицкий С. С. Методы и средства неразрушающего контроля. Минск: БНТУ, 2012. 183 с.
6. Кашубский Н. В., Сельский А. А., Смолин А. Ю. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 108 с.
7. Ефимов В. А., Петрова А. П., Аниховская Л. И. Ускоренные испытания клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 7. 12 с.
8. 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.
9. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании: ГОСТ 9620-94. Введ. 01.01.96. М.: Издательство стандартов, 1995. 8 с.
10. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании: ГОСТ 9624-93 Введ. 01.01.95. М.: Издательство стандартов, 1994. 10 с.
11. Иванов Ю. М., Лепарский Л. О., Сенчило Ю. Я. Прочность и напряжения клеевых соединений древесины. М.: Лесная промышленность, 1973. 160 с.
12. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве. СПб.: ГУАП, 2007. 137 с.
13. Рындин В. О. Исследование старения древесных композитов под воздействием различных эксплуатационных факторов // Сборник авторефератов магистров ТГТУ. 2006. № 7. С. 21–34.
14. Хрулев В. М. Испытание фанеры. М.: Гослесбумиздат, 1960. 72 с.
15. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
16. Федосенко И. Г. Основы научных исследований и инновационная деятельность. Минск: БГТУ, 2016. 97 с.
17. Веретиков И. И. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочностные показатели клеевых соединений // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 170–173.

#### References

1. STO 36554501-009-2007. Concrete. The ultrasonic method for determining the strength. Moscow, NITS “Stroitel’stvo”, 2007. 13 p. (In Russian).
2. Kanyevskiy I. N. *Nerazrushayushchie metody kontrolya* [Non-destructive testing methods]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2007. 243 p.
3. Khrulev V. M. *Dolgovechnost’ kleenoy drevesiny* [The durability of laminated wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1971. 160 p.
4. Berbekov Zh. V. Non-destructive methods for controlling the strength of concrete. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2012, no. 11, pp. 20–23 (In Russian).
5. Savitskiy S. S. *Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya* [Methods and means of non-destructive testing]. Minsk, BNTU Publ., 2012. 183 p.
6. Kashubskiy N. V., Sel’skiy A. A., Smolin A. Y. *Nerazrushayushchie metody kontrolya materialov i izdeliy* [Non-destructive methods of control of materials and products]. Krasnoyarsk, IPK SFU Publ., 2009. 108 p.
7. 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).
8. 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).
9. GOST 9620-94. Wood laminated glued. Sampling and general requirements for testing. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1995. 8 p. (In Russian).
10. GOST 9624-93. Wood laminated glued. Method for determining the breaking strength. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1994. 10 p. (In Russian).
11. Ivanov Yu. M., Leparskiy L. O., Senchilo Yu. Ya. *Prochnost’ i napryazheniya kleevykh soedineniy drevesiny* [Strength and stresses of glued wood joints]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1973. 160 p.
12. Sudarikova Ye. V. *Nerazrushayushchiy kontrol’ v proizvodstve* [Non-destructive testing in production]. St. Petersburg, GUAP Publ, 2007. 137 p.
13. 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).
14. Khrulev V. M. *Ispytanie fanery* [Plywood tests]. Moscow, Goslesbum Publ., 1960. 72 p.

15. Kirilov A. N. *Konstruktsionnaya fanera* [Construction plywood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 112 p.

16. Fedosenko I. G. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i innovatsionnaya deyatel'nost'* [Fundamentals of scientific research and innovation activities]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 97 p.

17. 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).

#### **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 20.04.2018*