

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ТРЕХТОЧЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Алексей Евгеньевич Шкуро¹, Артем Вячеславович Артемов²,
Никита Семенович Штабнов³, Виктор Гаврилович Бурындин⁴

^{1, 2, 4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
Россия

³ Филиал ФГБУ «48 ЦНИИ» Минобороны России, Екатеринбург, Россия

¹ shkuruae@m.usfeu.ru

² artemovav@m.usfeu.ru

³ lol_hukutos@mail.ru

⁴ buryndinv@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрен алгоритм определения модуля упругости при изгибе для композиционных материалов без связующих при испытаниях на прочность при изгибе (на трехточечный изгиб). При применении компьютеризированного испытательного оборудования вычисление модуля по двум точкам на графике «изгибающее напряжение/относительная деформация» можно заменить аналитическим подходом.

Ключевые слова: древесные пластики, физико-механические свойства, модуль упругости, изгиб

Для цитирования: Определение модуля упругости композиционных материалов без связующих при испытаниях на трехточечный изгиб / А. Е. Шкуро, А. В. Артемов, Н. С. Штабнов, В. Г. Бурындин // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века = Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century : материалы XX Международного евразийского симпозиума. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 96–101.

DETERMINATION OF THE ELASTIC MODULUS OF COMPOSITE MATERIALS WITHOUT BINDERS IN THREE-POINT BENDING TESTS

Alexey E. Shkuro¹, Artyom V. Artyomov², Nikita S. Shtabnov³, Victor G. Buryndin⁴

^{1, 2, 4} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

³ Branch of the Federal State Institution “48 Central Research Institute” of the Russian Ministry of Defense, Ekaterinburg, Russia

¹ shkuroae@m.usfeu.ru

² artemovav@m.usfeu.ru

³ lol_hukutos@mail.ru

⁴ buryndinv@gmail.com

Abstract. The article considers an algorithm for determining the elastic modulus in bending for composite materials without binders during strength tests in bending (three-point bending). When using computerized testing equipment, calculating the modulus based on two points on the “bending stress/relative deformation” graph can be replaced by an analytical approach.

Keywords: wood plastics, physical and mechanical properties, elastic modulus, bending

For citation: Opredelenie modulya uprugosti kompozitsionnih materialov bez svyazuyushih pri ispitaniyah na trextochechniy izgib [Determination of the elastic modulus of composite materials without binders in three-point bending tests] / A. E. Shkuro, A. V. Artyomov, N. S. Shtabnov, V. G. Buryndin // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century : materials of the XX International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 96–101. (In Russ).

Модуль упругости представляет собой одну из ключевых характеристик материала, сведения о которой необходимы для расчета жесткости конструктивных элементов, для анализа устойчивости, колебательных процессов, ударных нагрузок, а также при определении остаточных и температурных напряжений, при испытаниях на износостойкость [1].

Качество композиционных материалов (пластиков) без добавления связующих (ПБС), так же, как и качество композитов на основе синтетических связующих (ДСтП, МДФ и проч.), определяется степенью отверждения [2]. Одним из косвенных способов определения степени отверждения является способ определения модуля упругости у готовых пластиков [3, 4].

Для определения модуля упругости для ПБС можно использовать метод измерения прогиба при нагружении диска [3]. Процесс определения модуля упругости осуществляется следующим образом: образец в виде диска помещается в специальное устройство и подвергается нагрузке с помощью груза. Прогиб в центре диска фиксируется с использованием индикатора часового типа и рассчитывается модуль упругости при изгибе [4].

Определение модуля упругости может быть выполнено как для горячих, так и для холодных образцов-дисков ПБС. Модуль упругости, полученный для горячих образцов, отражает прочностные характеристики материала, в то время как модуль, полученный на холодных образцах, подвергнутых испытаниям через сутки или позже после прессования, можно рассматривать как один из индикаторов физико-механических свойств отвержденного пластика.

На основании проведенных исследований [5] был осуществлен анализ данных о физико-механических свойствах ПБС и древесно-композиционных материалов, полученных с применением фенолоформальдегидных олигомеров и древесных отходов. Также были выявлены тесные корреляционные зависимости между этими свойствами.

Для испытаний композиционных материалов (древесно-полимерных композитов, композитов с применением синтетических смол) на прочностные свойства используют ГОСТ 4648–2014 или ГОСТ 10635–88. В соответствии с названными гостами для испытаний изготавливаются стандартные образцы прямоугольной формы.

При применении компьютеризированного испытательного оборудования определение модуля по двум точкам на графике «изгибающее напряжение/относительная деформация» может быть заменено вычислением углового коэффициента прямой m с использованием линейной регрессии на интервале кривой между указанными точками, что представляет собой аналитический подход.

Определение модуля упругости при изгибе на прямоугольных образцах при аналитическом определении углового коэффициента прямой выполняется по следующей формуле:

$$E_{\text{и}}^{\text{п}} = \frac{L^3 m}{4bh^3}, \text{ МПа},$$

где L – расстояние между опорами, мм;

b – ширина образца, мм;

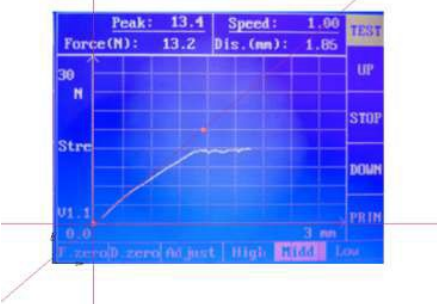
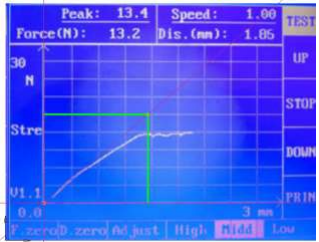
h – толщина образца мм;

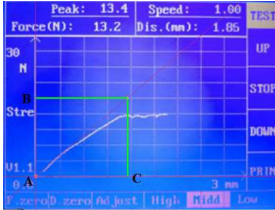
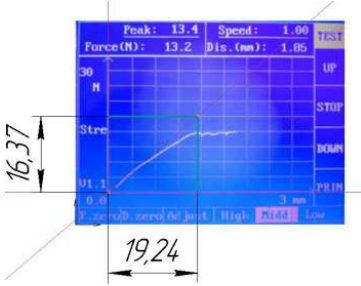
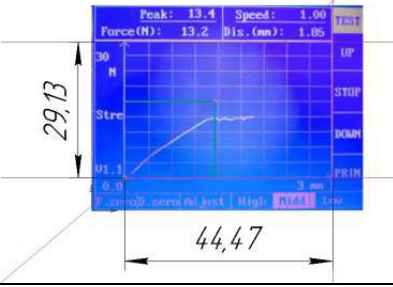
m – коэффициент, численно равный тангенсу углу наклона, Н/мм.

При испытаниях на кафедре ТЦБП и ПП УГЛТУ на трехточечный изгиб с применением разрывной машины марки Subramax RM-988, пультом

оператора предусматривается построение кривой в координатах «деформация – напряжение» для аналитического расчета модуля упругости при изгибе. В таблице представлен алгоритм определения углового коэффициента прямой.

Алгоритм определения углового коэффициента прямой для последующего вычисления модуля упругости при изгибе

№	Этап	Иллюстрация
1	Фиксируем цифровым способом фиксации изображение кривой, построенную в координатах «деформация – напряжение»	
2	Переносим зафиксированное растровое изображение в графический редактор (например, «КОМПАС-3D»). Добавляем вспомогательные кривые вдоль осей координат	
3	Строим касательную к самому крутому участку кривой	
4	Выбираем произвольную точку на построенной касательной	
5	Опускаем из этой точки перпендикуляры на оси абсцисс и ординат	

№	Этап	Иллюстрация
6	Тангенс угла наклона самого крутого участка кривой является отношением длины отрезка АВ (в ньютонах) к длине отрезка АС (в мм)	
7	Определяем величину искомых отрезков в графическом редакторе	
8	Определяем размеры системы осей абсцисс и ординат в графическом редакторе	
9	Отрезок АВ составляет 16,37/29,13 от 30 Н, а отрезок АС составляет 19,24/44,47 от 3 мм. То есть АВ = 16,86 Н, а АС = 1,30 мм	
10	Определяем тангенс угла наклона касательной: $\text{tg} = \text{AB}/\text{AC} = 16,86/1,3 = 12,97$	

В соответствии с указанными выше гостами предложенное аналитическое определение углового коэффициента прямой и последующий расчет модуля упругости при изгибе действительны только в тех случаях, когда имеет место линейная зависимость между изгибающим напряжением и деформацией.

Список источников

1. Исследование упругих свойств композитов на основе ацетата целлюлозы и лигноцеллюлозных наполнителей / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, П. С. Захаров, Х. С. Абзальдинов // Промышленное производство и использование эластомеров. 2023. № 1. С. 32–36.
2. Ставров В. П., Дедюхин В. Г., Соколов А. Д. Технология испытания реактопластов. М. : Химия, 1981. 248 с.

3. Бурындин Б. Г., Савиновских А. В., Артемов А. В. Определение модуля упругости древесных пластиков без добавления связующих // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIII Международной научно-технической конференции (Екатеринбург, 2–4 февраля 2021 года). Екатеринбург : ФГБОУ УГЛТУ, 2021. С. 529–531.

4. Артемов А. В., Савиновских А. В., Бурындин В. Г. Модуль упругости при изгибе как показатель физико-механических свойств древесных пластиков без добавления связующих // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1 (49). С. 67–71.

5. Исследование зависимости между физико-механическими свойствами древесных пластиков / М. С. Гарт, А. С. Ершова, А. В. Артемов [и др.] // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XVII Международного Евразийского симпозиума (Екатеринбург, 13–16 сентября 2022 года). Екатеринбург : ФГБОУ УГЛТУ, 2022. С. 140–146.

References

1. Research of elastic properties of composites based on cellulose acetate and lignocellulosic fillers / A. E. Shkuro, V. V. Glukhikh, P. S. Zakharov, H. S. Abzal'dinov // Industrial production and use of elastomers. 2023. № 1. P. 32–36. (In Russ).

2. Stavrov V. P., Dedyukhin V. G., Sokolov A. D. Technology of testing thermosetting plastics. M. : Chemistry, 1981. 248 p. (In Russ).

3. Buryndin B. G., Savinovskikh A. V., Artyomov A. V. Determination of the modulus of elasticity of wood plastics without the addition of binders // An effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and environmental problems of the forest complex : proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference (Ekaterinburg, February 2–4, 2021). Ekaterinburg : FSBEI USFEU, 2021. P. 529–531. (In Russ).

4. Artyomov A. V., Savinovskikh A. V., Buryndin V. G. Bending modulus of elasticity as an indicator of the physical and mechanical properties of wood plastics without the addition of binders // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 1 (49). P. 67–71. (In Russ).

5. Research of the relationship between the physical and mechanical properties of wood plastics / M. S. Gart, A. S. Ershova, A. V. Artyomov [et al.] // Woodworking: technologies, equipment, management of the 21st century : proceedings of the XVII International Eurasian Symposium (Ekaterinburg, September 13–16, 2022). Ekaterinburg : FSBEI USFEU, 2022. P. 140–146. (In Russ).