Губенко Л.А., Павлов Д.В., Прокопьева Д.А.
Упругие характеристики древесины, необходимые для оценки напряженного
состояния элементов деревянных конструкций

Федеральный университет имени М.В.Ломоносова

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-47

idsp: sciencerussia-10-04-2019-47

Предлагается применить неразрушающий импульсный ультразвуковой метод для определения упругих постоянных древесины. Полученные характеристики сравниваются с постоянными, полученными традиционным способом.

Ключевые слова: анизотропия, импульсный ультразвуковой метод, метод, упругие постоянные, сучки

Древесина относится к материалам с резко выраженными анизотропными свойствами. Эти свойства по-разному проявляются при исследовании напряженно-деформированного состояния элементов конструкций (анизотропия упругих свойств) и прочности этого материала (анизотропия прочности).

При оценке упругих свойств древесины наиболее обоснованным упрощением считается подход к древесине как к ортотропному материалу, т.е. материалу, имеющему три плоскости упругой симметрии. Оси, перпендикулярные этим плоскостям, считаются совпадающими с радиальными r , тангентальными t и продольными направлениями a , по отношению к годичным слоям древесины.

Закон Гука для ортотропного тела записывается в следующем виде:

$$\xi_a = \frac{1}{E_a} \sigma_a - \frac{\mu_{ta}}{E_t} \sigma_t - \frac{\mu_{ra}}{E_r} \sigma_r; \gamma_{tr} = \frac{1}{G_{tr}} \tau_{tr}$$

$$\xi_t = \frac{1}{E_t} \sigma_t - \frac{\mu_{rt}}{E_r} \sigma_r - \frac{\mu_{at}}{E_a} \sigma_a; \gamma_{ra} = \frac{1}{G_{ra}} \tau_{ra}$$

$$\xi_r = \frac{1}{E_r} \sigma_r - \frac{\mu_{ar}}{E_a} \sigma_a - \frac{\mu_{tr}}{E_t} \sigma_t; \gamma_{at} = \frac{1}{G_{at}} \tau_{at}$$

Где ξ - относительное удлинение или укорочение;

γ - относительный сдвиг;

σ - нормальные напряжения;

τ - касательные напряжения;

E - модуль упругости;

G - модуль сдвига.

Индекс указывает направление оси упругой симметрии.

При наличии двойного индекса первый индекс указывает направление поперечной деформации, второй – направление вызвавшего ее осевого усилия.

Двойные индексы у G соответствуют направлениям, между которыми происходит изменение прямого угла.

Здесь использовано 12 главных упругих постоянных. Однако независимыми из них будет только 9, т.к. для ортотропного материала справедливы соотношения:

$$E_a \mu_{ra} = E_r \mu_{ar};$$

$$E_r \mu_{tr} = E_t \mu_{rt};$$

$$E_t \mu_{at} = E_a \mu_{ta}.$$

Главные направления упругой симметрии древесины как ортотропного тела

Существующие стандартные методы определения упругих постоянных имеют недостатки. Механические тензометры врезаются в древесину и могут проскальзывать по латунным подкладкам. Электронно-тензометрические датчики сопротивления имеют большие погрешности измерения. Кроме того, вырезать образцы стандартных размеров с соблюдением строгой ориентации волокон у древесины с сучками трудно. Тем более, что требуются исследовать упругие характеристики самых сучков и зоны вокруг них.

Наиболее целесообразным является неразрушающий импульсный ультразвуковой метод, позволяющий на основании параметров распространения упругих волн в теле материала образца определять упругие характеристики. Данный метод использовался для исследования древесины Ашкенази Е.К. [1], Губенко Л.А., Поляковым В.Е. [2], [3]. В данной работе приводятся результаты измерения модулей упругости приборами УЗиС – ЛЭТИ, УКБ-1м, а так же коэффициентов Пуассона и модулей сдвига прибором УКБ-1 м.

Образцы выполнялись из древесины сосны в виде пластинок с сучками, пластинок из материала сучков, присучковой зоны и чистой древесины. Размеры образцов: 50/50/5 мм, 50/50/15 мм.

Дополнительно были изготовлены образцы стандартных размеров 30/30/60 мм. Для определения упругих характеристик традиционными методами.

Модули упругости вычислялись по формуле:

$$E_i = V_i^2 \rho$$

Где E_i – модуль упругости в направлении i ;

V_i – скорость распространения продольной упругой волны;

ρ – плотность древесины.

Модули сдвига определялись по формуле:

$$G_{ik} = V_{ik}^2 \rho$$

Где V_{ik} – скорость распространения поперечной ультразвуковой волны;

Первый индекс – i – направление прозвучивания, второй – k – направление плоскости поляризации.

Коэффициент поперечной деформации определяется по формуле:

$$\mu_{ik} = \frac{V_i^2 - 2V_k^2}{2(V_i^2 - V_k^2)}$$

Где V_i – скорость продольных волн;

V_k – скорость поперечных волн.

Итак, упругие характеристики вычислялись по скорости распространения ультразвуковой волны, проходящей через образец.

Полученные в результате испытаний характеристики приведены в таблице.

Таблица 1

Упругие характеристики древесины

Характеристики	Материал		Прибор
	Древесина чистая	Древесина сучка	
E_a	15125	6210	УКБ-1м
	14980	8910	УЗИС
	11980	5661	Тензометры
E_r	1060	5500	УКБ-1м
	898	5400	Тензодатчики
	660	4280	Тензометры
U_{ar}	0,482	0,470	УКБ-1м
	0463	0,380	Тензодатчики
	0,420	0,270	Тензометры
U_{at}	0,430	0,490	УКБ-1м
	0,660	0,380	Тензометры
G_{ar}	667	450	УКБ-1м
	710	960	Тензометры
G_{rt}	103	2013	УКБ-1м
	100	1651	Тензометры

Очевидно, что расхождения упругих характеристик, определенных различными способами, не превышают 10%. Древесина сучка, ввиду своей высокой твердости, не обладает такой ярко выраженной анизотропией, как чистая древесина.

Эти данные в дальнейшем можно использовать для оценки напряженно-деформированного состояния реального деревянного элемента, содержащего пороки строения- сучки.

1. Ашкенази Е.К. Неразрушающий контроль качества древесины и фанеры. – Л: Труды ЛДНТТ, 1978, 30с.
2. Губенко Л.А., Поляков В.Е. Исследование модулей упругости древесины сучков – ИВУЗ, Лесной журнал №5, 1980 г.
3. Губенко Л.А. Использование ультразвука для определения упругих постоянных древесины сучков. – Инф. Листок №195-97, Архангельск, ЦНТИ, 1997 г.