

тальные данные и в то же время обеспечивающих рациональный расход материала и удобство при проведении экспериментальных исследований, был выполнен численный расчет ДКБ-образцов по методу конечных элементов (МКЭ) с использованием ЭВМ. С учетом результатов расчета по МКЭ была изготовлена пробная серия образцов, по результатам испытаний которых были приняты геометрические параметры, указанные на рис. 7. Общая длина образца от точки приложения нагрузки до его грани была принята равной $7h$. Длина пропила принималась кратной полувысоте образца h (высоте консоли), и была равна $1h - 5,5h$, с шагом $0,5h$, а в некоторых случаях – $0,25h$.

Таким образом, использование ДКБ – образцов для определения вязкости разрушения древесины является целесообразным ввиду возможности проведения нескольких нагружений одного и того же образца с различной длиной трещины. Это позволяет установить значение характеристики разрушения, избегая погрешностей, обусловленных возможным различием свойств древесины в разных образцах.

Для достаточно полной оценки величины трещиностойкости древесины с учетом значительной неоднородности ее структуры и анизотропии свойств необходим комплекс исследований образцов с различной ориентацией трещины по отношению к годичным кольцам. Это возможно лишь при условии тщательного отбора материала для изготовления образцов и проведения испытаний.

Испытание образцов осуществляется на разрывных машинах, обеспечивающих жесткий режим нагружения, то есть с постоянной скоростью перемещения захватов. Это дает возможность остановить испытание в момент старта трещины.

Характер диаграмм (рис. 3) нагружения указывает на то, что величина раскрытия трещины прямо пропорциональна приложенной нагрузке. Это дает право использовать принци-

пы линейной механики разрушения для определения вязкости разрушения древесины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хеллан К. Введение в механику разрушения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 364 с., ил.
2. Механика хрупкого разрушения. Г.П. Черепанов – М.: издательство "Наука", Главная редакция физико-математической литературы, 1974 – 640 с.
3. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: В 2-х томах. Т. 1 : Пер. с англ./ Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – 448 с., ил.
4. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: В 2-х томах. Т. 2 : Пер. с англ./ Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – 1016 с., ил.
5. Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций: Сборник научных трудов. – М.: ЦНИИ-Промзданий, 1992. – 192 с.
6. Конструкции из дерева и пластмасс. / Под ред. Карлсена Г.Г. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.
7. Разрушение. Разрушение неметаллов и композитных материалов. Том 7. Часть 1. Под ред. Г. Либовица. – М.:
8. ГОСТ 25.506 – 85 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний материалов. Определенные характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Издательство стандартов, 1985 – 61 с.
9. Влияние длины трещины и температуры на результаты измерений коэффициента интенсивности напряжений на ДКБ-образцах. Ю.А. Кашталян, В.М. Гороп, И.В. Орыняк. - Проблемы прочности. 1985, №11, с. 46-49. Библ. 11.
10. Г.С. Волков. Методика определения трещиностойкости хрупких материалов на стадии остановки трещины. - Проблемы прочности. 1989, №9, с. 121-124. Библ. 13.

УДК 624.05

Найчук А.Я., Петрукович А.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАЛИБРОВКИ ПОДАТЛИВОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Современные конструкционные материалы имеют, как правило, сложное и неоднородное строение. Так, к примеру, стали представляют собой многокомпонентные сплавы, поликристаллические агрегаты с межкристаллическими прослойками и различными зёрнами. Еще более сложны современные композиционные материалы, армированные волокнами или жесткими включениями. На их фоне особым по своей сложно организованной структуре материалов предстает природный композит – древесина. Зависимость механических свойств материала от его структуры проявляется для древесины уже на макроуровне, в то время как для стали подобная зависимость может быть выявлена лишь на микроуровне с учетом технологии изготовления и обработки.

Наличие в древесине чередующихся слоев раннего и позднего роста (годичных колец), отличающихся строением клеток и, как следствие, физико-механическими характеристиками, приводит к условному ее рассмотрению как трансверсально-изотропного тела. В этом случае механическая модель материала обладает круговой симметрией относительно одной из основных осей. Для древесины направление оси поперечной симметрии совпадает с направлением волокон. В плоскости, перпендикулярной направлению волокон, механические свойства различны в тангенциальном и радиальном направлениях.

Полученные на сегодняшний день данные о прочности древесины обнаруживают зависимость прочностных характеристик, в том числе и характеристик трещиностойкости древесины, от формы и размеров образцов, то есть мы располагаем, строго говоря, данными по прочности образцов, а не материала [1]. Для получения устойчивых сравнительных характеристик древесины используются специальные стандартные образцы.

Трещиностойкость древесины так же, как и ее основные прочностные и упругие характеристики, различна для образцов тангенциальной и радиальной распиловки. Этому есть не одно объяснение. Во-первых: трещина в большинстве случаев распространяется вдоль волокон. В некоторых случаях она может перерезать ближайшее волокно, а иногда и не одно, что связано с наличием локальных неоднородностей структуры и видом напряженно-деформированного состояния (рис. 1). Во-вторых: при распространении трещины в тангенциальной плоскости, ее продвижению сопротивляются в основном слои раннего роста древесины, прочность которых гораздо меньше прочности слоев позднего роста. Различие механических свойств слоев раннего и позднего роста древесины связано с тем, что стенки поздних трахеидов толще, чем стенки ранних трахеидов, которые выполняют в растущем дереве проводящую функцию [2]. Такое различие легко заметить на микрофотографии поперечного среза границы годичного кольца (рис. 2).

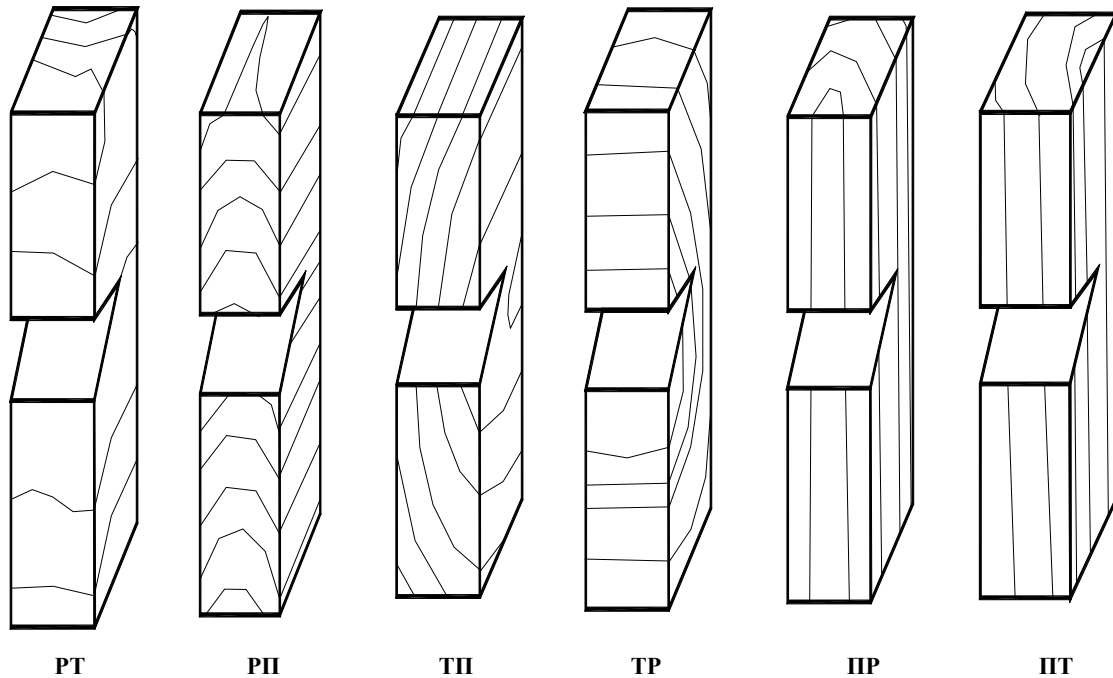


Рис. 1. Возможные направления распространения трещины в цельной древесине. Первая буква показывает направление, нормальное к поверхности трещины, вторая – направление развития трещины.

Однако строгое распространение трещины в слоях раннего роста встречается довольно редко, преимущественно тогда, когда толщина разрушаемого элемента незначительна. В большинстве случаев трещина перерезает одновременно несколько годичных слоев древесины. Применение методов механики разрушения с целью оценки несущей способности конструкций с трещинами представляется возможным в случае экспериментального определения трещиностойкости древесины на образцах, где трещины перерезает несколько годичных слоев.

Определение "чистой" трещиностойкости, то есть способности сопротивляться возникновению и развитию трещин отдельно слоев раннего и позднего роста, представляется задачей узкого научно-технологического профиля, неизбежно требующей анализа микроструктуры древесины и физико-химических процессов, обуславливающих свойства древесины в период ее роста.

С конструкторской точки зрения вполне достаточно анализа древесины как композита и представления ее модели в виде трансверсально-изотропного тела, обладающего осями продольной и поперечной симметрии.

На рис. 1 представлены возможные направления распространения трещины в цельной древесине:

PT – трещина распространяется в тангенциальном направлении, нормаль к поверхности трещины совпадает по направлению с радиусом кривизны годичных слоев (радиусом ствола);

PP - трещина распространяется в продольном направлении (вдоль волокон), нормаль к поверхности трещины совпадает по направлению с радиусом кривизны годичных слоев;

TP - трещина распространяется вдоль волокон, нормаль к поверхности трещины совпадает по направлению с касательной к годичным слоям;

TR - трещина распространяется в радиальном направлении, нормаль к поверхности трещины совпадает по направлению с касательной к годичным слоям;

PR - трещина распространяется в радиальном направлении, нормаль к поверхности трещины совпадает с направлением вдоль волокон;

PT - трещина распространяется в тангенциальном направлении, нормаль к поверхности трещины совпадает с направлением вдоль волокон.

Использование метода калибровки податливости позволяет определить значение трещиностойкости древесины для случаев различной распиловки – тангенциальной, радиальной и смешанной; а так же при изменении толщины и влажности образцов [3].

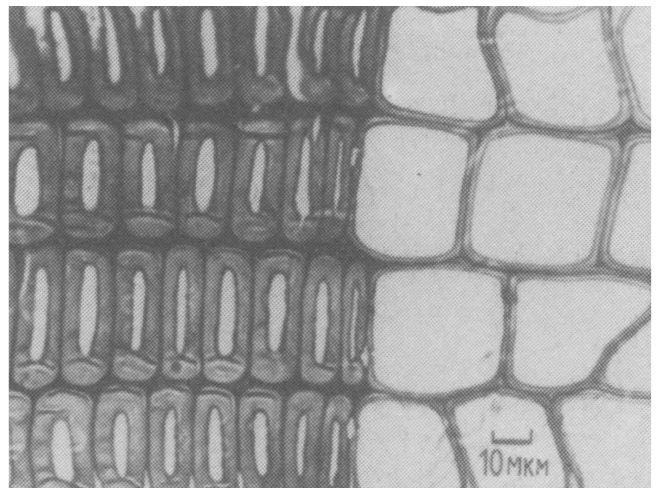


Рис. 2. Микрофотография поперечного среза границы годичного кольца древесины хвойных пород (сосны, ели). Более темные – поздние трахеиды.

Данный метод основан на определении величины высвобождения упругой энергии на единицу приращения площади поверхности трещины A при её продвижении. В основу этого метода положена модель Гриффитса [4]. Согласно этому методу скорость (интенсивность) высвобождения упругой энергии определяется уравнением.

Таблица 1. Результаты испытаний ДКБ-образца методом калибровки податливости

Длина трещины, l [м (h)]	0,0585	0,117	0,14625	0,1755	0,20475	0,234
	1	2	2,5	3	3,5	4
Критическая нагрузка, F_c [Н]	671,3	548,8	441	423,36	327,32	292,04
Перемещение точки приложения нагрузки, δ [м]	0,000344	0,00079	0,00106	0,00122	0,00128	0,0015
Податливость, λ [м/Н] · 10 ⁻⁹	512,438552	1437,68	2392,29	2886,43	3904,44	5136,28
Интенсивность высвобождения упругой энергии, G [Н/м]	178,607652	253,733	238,873	320,96	279,716	324,637

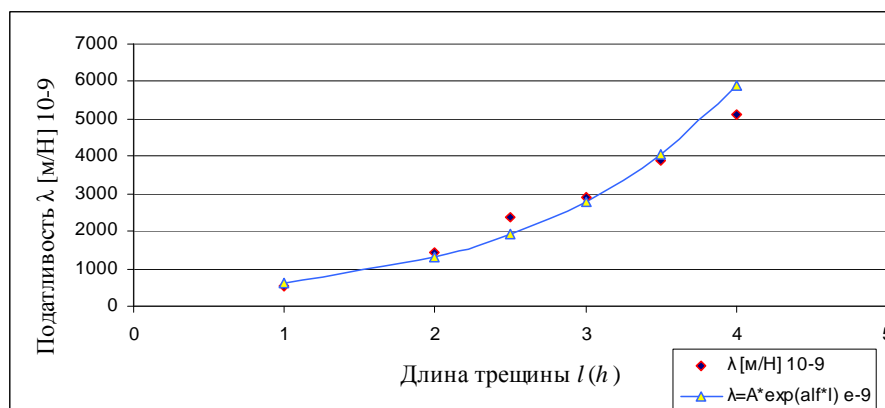


Рис. 4. Аппроксимация функции податливости от длины трещины.

$$G = \frac{F_{max}^2}{2} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial A}, \quad (1)$$

$$K_{IC} = \sqrt{G/c1}. \quad (4)$$

где F_{max} – нагрузка, соответствующая началу роста трещины; λ – податливость образца; $\partial \lambda / \partial A$ – скорость изменения податливости по отношению к изменению площади поверхности трещины.

В случае нормального отрыва (разрушение тип I – растяжение поперёк волокон древесины) согласно [4, 5] зависимость между интенсивностью высвобождения упругой энергии G и коэффициентами интенсивности напряжений K_{IC} определяется уравнением [2]

$$G = c1 \cdot K_{IC}^2 \quad (2)$$

где $c1$ – коэффициент, зависящий от упругих характеристик материала.

$$c1 = \left(\frac{a_{11} \cdot a_{22}}{2} \right)^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{a_{22}}{a_{11}} \right)^{1/2} + \frac{2 \cdot a_{12} + a_{66}}{2 \cdot a_{11}} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где $a_{11} = \frac{1}{E_x}$; $a_{22} = \frac{1}{E_y}$; $a_{12} = -\frac{\nu_{xy}}{E_y} = -\frac{\nu_{yx}}{E_x}$;

$a_{66} = \frac{1}{G_{xy}}$, E_x, E_y – модули упругости; G_{xy} – модуль сдвига;

ν_{yx}, ν_{xy} – коэффициенты поперечной деформации.

Например, при испытании ДКБ-образца (двухконсольная балка 2-t-1(2)) (рис. 3) с тангенциальной распиловкой древесины длиной 409,5 мм, высотой 117 мм и толщиной 20 мм, с трещиной типа ТП, были получены результаты, представленные в табл. 1.

На основании полученных данных была выполнена аппроксимация функции податливости и функции нагрузки от длины трещины (рис.3, 4).

Затем, на основании зависимости (1) рассчитана интенсивность высвобождения упругой энергии G ; на основании зависимости (2) – трещиностойкость:

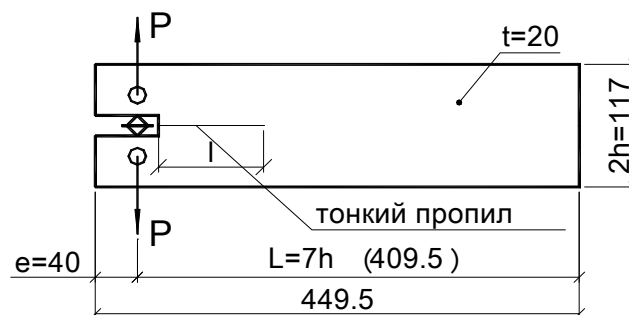


Рис. 3. Схема ДКБ-образца

Для образцов толщиной 20 мм среднее значение K_{IC} составило 0,41 МПа·м^{1/2}.

Это значение не противоречит известным на сегодняшний день данным о трещиностойкости древесины. Согласно [4] трещиностойкость древесины составляет от 0,15 до 0,65 МПа·м^{1/2}. А согласно [6] это значение колеблется от 0,1 до 1 МПа·м^{1/2} для древесины поперек волокон и от 1 до 10 МПа·м^{1/2} для древесины вдоль волокон. Такое значительное расхождение подтверждает необходимость более точного определения трещиностойкости древесины.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и апробирована методика уточнения значений вязкости разрушения древесины способом калибровки податливости.

2. Изменение податливости и критической нагрузки для испытываемых образцов при определении вязкости разрушения древесины носит ярко выраженный нелинейный характер.

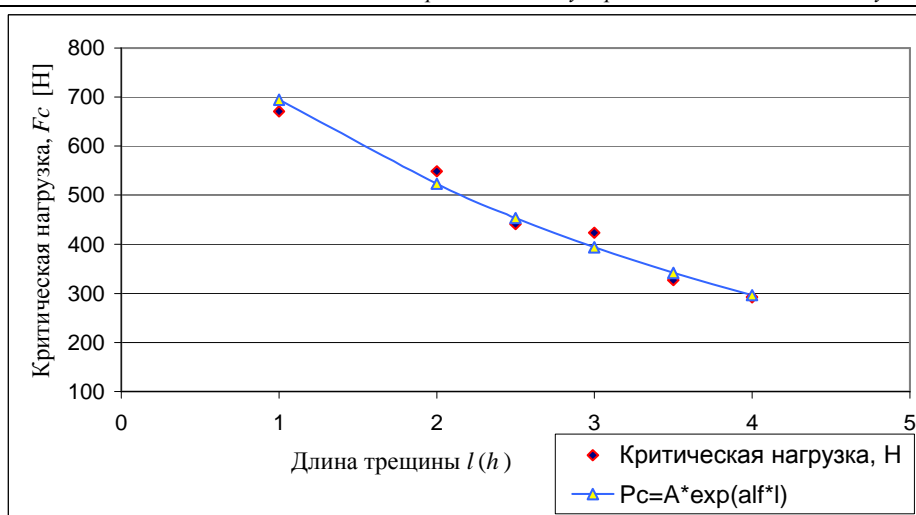


Рис. 5. Аппроксимация функции критической нагрузки от длины трещины.

3. Интенсивность высвобождения упругой энергии G и, как следствие, трещиностойкость древесины K_{IC} для испытанных образцов зависят от их толщины; значения трещиностойкости для данного типа образцов находятся в диапазоне от 0,15 до 0,65 МПа·м^{1/2}.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 312 с.
2. Древесина (химия, ультраструктура, реакции): Пер. с. англ. / Д. Фенгел, Г. Вегенер; Под. ред. д-ра техн. наук, проф. А.А. Леоновича – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 512с.

3. Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций: Сборник научных трудов. – М.: ЦНИИ-Промзданий, 1992. – 192 с.
4. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974 – 640 с.
5. Разрушение: В 7 т. / Под ред. Г. Либовица. – Т. 7, ч. 1: Разрушение неметаллов и композитных материалов. – М.: Мир, 1976 – 634 с.
6. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справочное пособие: В 2-х ч. / В.Т. Троценко и др. - Киев: Наукова думка, 1994 - 704 с. – ч. 2.

УДК 624.012.4.35

Леонович С.Н., Аль-Факих Омар А.М.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ КАК КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА

Целью настоящей работы являлось исследование закономерностей сопротивления напрягающего бетона развитию микро-, а затем и макротрещин из структурных дефектов пор, капилляров и пустот, сформировавшихся на этапе изготовления композита, в результате последующих воздействий циклов замораживания-оттаивания. Исследования велись методами механики разрушения в связи теоретическими гипотезами о физической модели бетона [1].

Методика исследований. Виды бетонов.

Исследования проводили на трех составах бетона. Эти составы (серия 4-6) были изготовлены на напрягающем порландцементе НЦ-20 и НЦ-40.

Составы бетона подбирались таким образом, чтобы получить различные структурные характеристики материалов при одинаковых прочностных показателях. С целью модификации структуры бетона на напрягающем цементе вводили (серия 6) пластифицирующую добавку С-3.

Проектный класс бетона по прочности на сжатие В 40. Бетонные смеси уплотняли вибрированием на лабораторной виброплощадке. Твердение образцов происходило в нормально-влажностных условиях при температуре 20°С и относительной влажности 95 %. Возраст образцов к моменту испытаний составлял не менее 28 суток. Составы бетонов, применяемых для изготовления образцов серий 4-6, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Составы бетонных смесей

Номер состава	Расход составляющих, кг/м ³					ρ_b , кг/м ³	R, МПа
	цемент	песок	щебень	вода	С-3		
Серия 4	455	680	1120	180	--	2435	50,0
Серия 5	440	695	1130	175	--	2440	50,0
Серия 6	490	670	1110	175	4,0	2340	50,0

Леонович Сергей Николаевич, д.т.н., профессор каф. технологии строительного производства Белорусского национального технического университета.

Аль-Факих Омар А.М., аспирант каф. технологии строительного производства Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.