

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДКБ-ОБРАЗЦОВ

Результаты обследования зданий и сооружений показывают, что значительная часть деревянных конструкций эксплуатируется с различными дефектами и повреждениями. Одними из наиболее часто встречаемых типов повреждений являются трещины, наличие которых в ряде случаев ставит под угрозу возможность дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций. Демонтаж и замена таких конструкций в большинстве случаев экономически нецелесообразны, так как влекут за собой немалые материальные затраты. В связи с этим закономерно встает вопрос о том, какие из поврежденных конструкций обладают достаточной для нормальной эксплуатации несущей способностью и надежностью. Одним из наиболее рациональных направлений решения данной задачи являются экспериментально-теоретические исследования с привлечением методов механики разрушения, позволяющие оценить параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) в материале с трещиной и определить прочность конструкции исходя из величины трещиностойкости материала. Трещиностойкость материала, при силовом подходе, определяется предельными значениями коэффициентов интенсивности напряжений – K_{IC} (нормальный отрыв) и K_{IIS} (поперечный сдвиг) [1]; а при энергетическом – значениями контурного J -интеграла.

Напряжения и деформации в непосредственной близости от вершины трещины пропорциональны отношению $K/r^{1/2}$ [1]. Здесь K – коэффициент интенсивности напряжений, а r – расстояние от вершины трещины до рассматриваемой точки. Чтобы расчетным путем определить K , необходимо смоделировать поле напряжений и деформаций в зоне вершины трещины. На современном этапе наиболее предпочтительным для решения задач с различными граничными условиями является использование численных методов.

В настоящее время разработано множество программ по определению напряженно-деформированного состояния конструкций, в основу которых положен метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод позволяет создавать модели с различными граничными условиями для различных материалов и сред.

Следует отметить, что большинство программ с использованием МКЭ базируется на использовании треугольных конечных элементов (КЭ) с линейной функцией аппроксимации поля перемещений. Использование таких КЭ не позволяет моделировать особенности НДС у вершины трещины. Предпочтительней использовать изопараметрические квадратичные элементы, позволяющие моделировать сингулярность поля напряжений у вершины трещины [2], что и реализовано в специально разработанном программно-расчетном комплексе "Stizar" [3].

Для сравнения результатов расчета, полученных численным методом по программе "Stizar", и полученных по формулам [4] были определены значения K для прямоугольного компактного образца с краевой трещиной, подвергнутого внецентренному растяжению (рис. 1). При этом соблюдалось соответствие свойств материала и геометрических параметров модели образцу. Параметры рассчитываемой модели: материал – изотропный, модуль упругости $E=210000$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu=0,3$, сосредоточенное растягивающее уси-

лие $F=5000$ Н, толщина $b=200$ мм. Трещина была представлена абсолютно тонкой (в виде математического разреза).

Согласно формуле [4], K равен 381800 Па.м^{1/2}, а рассчитанный численным методом – 403540 Па.м^{1/2}.

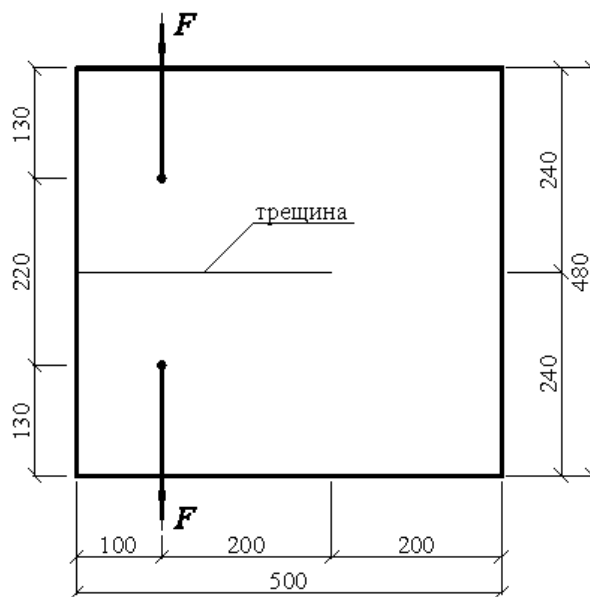


Рис. 1. Прямоугольный компактный образец с краевой трещиной.

Расхождение в полученных результатах составляет 5%, и является следствием упрощения формы трещины, а также объясняется размерами сингулярных конечных элементов возле вершины трещины.

Также была решена задача для ортотропной полосы с центральной трещиной, аналогично рассмотренной в работе [5] с такими же граничными условиями и свойствами материала (рис. 2). Различие в результатах составило порядка 4%, что объясняется использованием КЭ, отличных от примененных в работе [5].

Анализ выполненных расчетов позволяет сделать вывод о достоверности результатов, получаемых при решении задач механики разрушения для моделей изотропных и ортотропных материалов по программе "Stizar".

Убедившись в рациональности применения численных методов для решения задач механики разрушения, как для изотропных, так и для ортотропных материалов, были решены задачи, касающиеся экспериментального определения коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве [6, 7, 8].

Наиболее удобным для экспериментальных исследований по определению вязкости разрушения K_{IC} является образец в виде двухконсольной балки (ДКБ-образец) [6, 7, 9] (рис. 3), основными параметрами которого при исследовании характеристик трещиностойкости являются: величина разрушающей нагрузки (F), толщина (t), длина трещины (l) и высота консоли (h).

Петрукович Андрей Николаевич, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

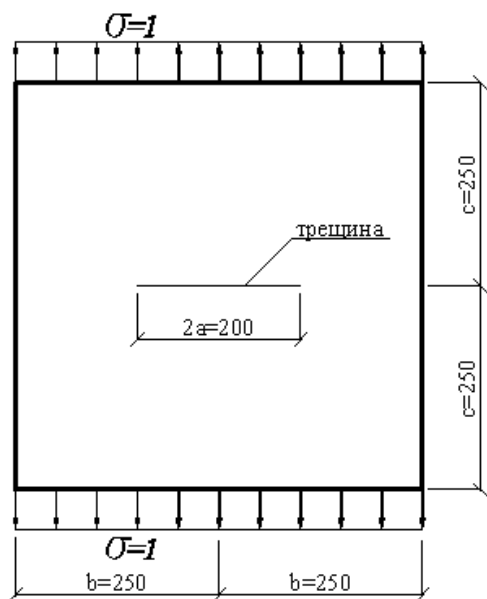


Рис. 2. Ортоотропная полоса с центральной трещиной, нагруженная равномерно распределенной растягивающей нагрузкой.

Выполнены расчеты трех типов ДКБ-образцов со следующими фиксированными и переменными параметрами:

- образец тип 1:
 $L=1,05$ м, $l=0,18$ м, $F=1000$ Н, $b=0,01$ м;
 $h=0,05, 0,055, 0,06, 0,065, 0,07$ м.
- образец тип 2:
 $L=1,05$ м, $F=1000$ Н, $h=0,06$ м, $b=0,01$ м;
 $l=0,18, 0,3, 0,42, 0,54, 0,66$ м.
- образец тип 3:
 $L=1,05$ м, $F=1000$ Н, $h=0,06$ м, $l=0,18$ м;
 $b=0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05$ м.

Модель представлена в виде изотропного образца с модулем упругости $E=210000$ МПа и коэффициентом Пуассона $\mu=0,3$. Для упрощения расчета использовалась модель в виде половины ДКБ-образца с соответствующими граничными условиями (рис. 4).

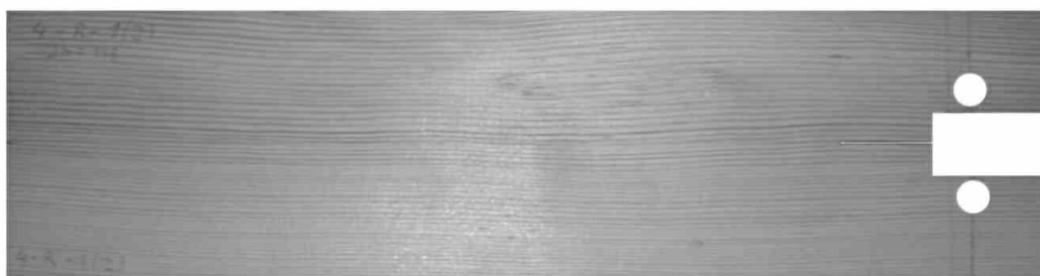


Рис. 3. Общий вид ДКБ-образца из древесины.

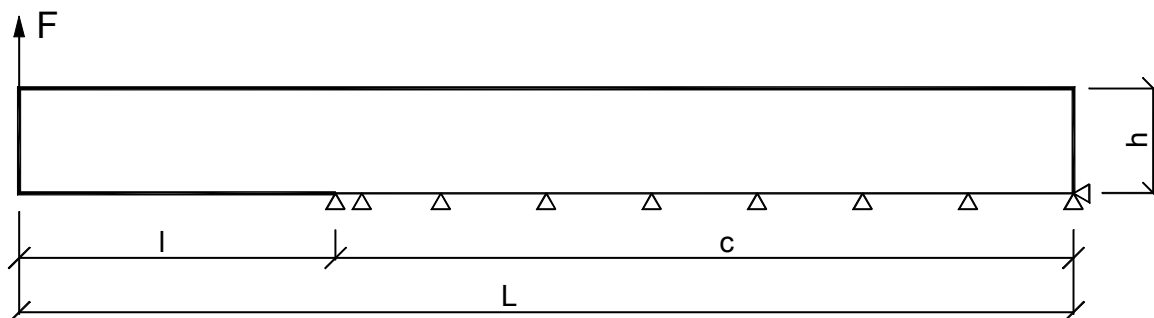


Рис. 4. Расчетная схема ДКБ-образца.

В таблицах 1-3 представлены результаты расчета, позволяющие судить о степени влияния каждого из рассматриваемых факторов.

Анализируя результаты расчетов можно сделать вывод, что значения K пропорциональны значению высоты консоли в степени $-3/2$, обратно пропорциональны толщине образца и прямо пропорциональны длине трещины. При этом следует заметить, что такая пропорциональность K длине трещины характерна для образцов с трещиной, длина которой более $2,2h$ и меньше чем $c=L-2,5h$, где L – длина образца (м) и h – высота консоли (м).

С учетом приведенных данных, общий вид функциональной зависимости между K , для случая нормального отрыва, и указанными выше факторами

$$K_1 = f_k \left(\frac{F \cdot l}{b \cdot h^{3/2}} \right) \quad (1)$$

где F – растягивающая сосредоточенная сила, Н;

l – длина трещины, м;

b – толщина образца, м;

h – высота консоли (полувысота образца), м.

Указанный общий вид функциональной зависимости аналогичен зависимостям, приведенным в работах Г.С. Волкова [10], Г.П. Никишкова и А.Г. Краева [9].

Для ортоотропной модели были рассчитаны такие же ДКБ-образцы, как и для изотропной (рис. 3), со следующими характеристиками материала: $E_x=10000$ МПа, $E_y=400$ МПа, $G_{xy}=500$ МПа, $\mu_{xy}=0,02$,

где E_x, E_y – модули упругости; G_{xy} – модуль сдвига; μ_{xy} – коэффициент поперечной деформации (направление оси "x" для главных осей симметрии ортоотропного материала совпадало с направлением развития трещины).

Для данной модели определялось значение J -интеграла, переход от которого к K согласно формуле [1]:

$$K_1 = \sqrt{\frac{J}{c1}}, \quad (2)$$

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

Таблица 1. Зависимость K от высоты консоли

Высота, м	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07
K , Па.м ^{1/2}	6636100	5847300	5206500	4683400	4257100

Таблица 2. Зависимость K от длины трещины

Длина, м	0,18	0,3	0,42	0,54	0,66
K , Па.м ^{1/2}	5206500	8031900	10864000	13686000	16515000

Таблица 3. Зависимость K от толщины образца

Толщина, м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
K , Па.м ^{1/2}	5207100	2603500	1735700	1301800	1041400

$$a_{11} = \frac{1}{E_x}; a_{22} = \frac{1}{E_y}; a_{12} = -\frac{\nu_{xy}}{E_y} = -\frac{\nu_{yx}}{E_x}; a_{66} = \frac{1}{G_{xy}}. \quad (4)$$

Результаты расчета ортотропной модели показывают, что между значениями J -интеграла и рассмотренными параметрами (l , h , t) наблюдается закономерная связь, как и для K . То есть общий вид функциональной зависимости значений J -интеграла может быть представлен в виде

$$J_1 = f_J \left(\frac{F^2 \cdot l^2}{b^2 \cdot h^3} \right). \quad (5)$$

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Использование численных методов для моделирования и расчета образцов с трещиной позволяет получить достоверные результаты, которые могут быть использованы для анализа НДС строительных конструкций.

2. Полученные методом конечных элементов значения коэффициентов интенсивности напряжений и J -интеграла по своей функциональной зависимости от исследуемых параметров в достаточной степени адекватны имеющимся на сегодняшний день данным. Это позволяет надеяться на успешное их применение при определении характеристик трещиностойкости конструкционных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Механика хрупкого разрушения. Г.П. Черепанов – М.: издательство "Наука", Главная редакция физико-математической литературы, 1974 – 640 с.
2. Найчук А.Я., Холодарь Б.Г. Сингулярные нелинейные элементы в плоской задаче ортотропных тел с трещинами. – Мн.: Материалы II Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике. Тез. докл., 1999 – 97 с.

3. А.Я. Найчук, А.С. Левчук Определение напряженно-деформированного состояния деревянных клееных конструкций со сквозными трещинами. ВНИИТПИ ГОССТРОЯ СССР. №10284 от 9.09.1989. – Брест: ГЛАВПРОМСТРОЙПРОЕКТ, 1989 – 49 с.
4. ГОСТ 25.506 – 85 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний материалов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Издательство стандартов, 1985 – 61 с.
5. Fracture Mechanics Application of an Assumed Displacement Hybrid Finite Element Procedure. S.N. Atluri, A.S. Kobayashi, M. Nakagaki – AIAA Journal, 1975, v.13, No.6, pp. 734–739.
6. Найчук А.Я. Методика определения вязкости разрушения древесины K_{IC} . – В кн.: Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций.: Сб. науч. тр. ЦНИ-Ипромзданий. М.:1992, с. 63-70.
7. Найчук А.Я., Драган В.И., Петрукович А.Н. Методика экспериментального определения характеристик трещиностойкости древесины на ДКБ-образцах. //Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1(25). с. 85-88.
8. Найчук А.Я., Петрукович А.Н. Применение метода калибровки податливости для определения трещиностойкости древесины. //Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1(25). с. 88-91.
9. Г.П. Никишков, А.Г. Краев Коэффициенты интенсивности напряжений для ДКБ-образца при нагружении силой и моментом. – Физика и механика деформации и разрушения. Сборник статей. Выпуск 4. – М.: Атомиздат, 1977 – 92 с.
10. Г.С. Волков Методика определения трещиностойкости хрупких материалов на стадии останковки трещины. – Проблемы прочности. – 1989. - №9.

УДК 624.05

Драган В.И., Петрукович А.Н.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ K_{IC}

В практике эксплуатации деревянных конструкций нередки случаи, когда конструкции находятся в условиях воздействия отрицательных температур. Это характерно для зданий с холодным режимом эксплуатации, а также для инженерных сооружений, постоянно находящихся в открытых условиях – мостов, эстакад и путепроводов.

На основании проведенных ранее исследований поведения древесины в условиях воздействия различных температур известно, что с повышением температуры показатели механических свойств древесины уменьшаются, а со снижением –

увеличиваются. Изменение температуры немедленно отражается на свойствах древесины, а продолжительное воздействие высоких температур, кроме того, необратимо снижает механические характеристики [1].

К примеру, для древесины сосны зависимость модуля упругости при изгибе на основании ограниченного числа исследований, проведенных в Лаборатории лесных продуктов США, для температур в диапазоне от -184°C до 93°C может описываться в следующем виде:

Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, первый проректор, зав. кафедрой строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура