

Таблица 1. Зависимость  $K$  от высоты консоли

Высота, м	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07
$K$ , Па.м <sup>1/2</sup>	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 <sup>1/2</sup>	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 <sup>1/2</sup>	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.*

$$E = -14,6739t + 10500, \text{ МПа} - \text{ для влажности } 12\%; \quad (1)$$

$$E = -2,7397t + 10200, \text{ МПа} - \text{ для влажности } 0\%, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости древесины при изгибе, растяжении и сжатии вдоль волокон, МПа;

$t$  – температура, °С.



Рис. 1. Общий вид установки для испытаний ДКБ-образцов: термокамера с установкой для автоматического регулирования температуры.

В условиях нашего климата диапазон наиболее вероятных средних температур наружного воздуха составляет порядка от -15°С до 15°С.

Для определения трещиностойкости древесины  $K_{TC}$  при различных значениях температуры были испытаны ДКБ-образцы [2, 3] толщиной 40 мм с различной системой трещин [3]. Влажность образцов на момент испытаний составляла  $10\% \pm 1\%$ .

Определение значений трещиностойкости древесины по результатам испытаний ДКБ-образцов выполнялось с использованием метода податливости [4].

Диапазон температур при испытаниях составил от -20°С до 20°С. Регулирование температуры осуществлялось путем проведения испытаний в специальной термокамере, в который в автоматическом режиме по заданному значению температуры испытаний подавался азот, испаряемый из сосудов Дьюара (рис. 1). Регулирование температуры осуществлялось с использованием специально изготовленного прибора (рис. 2) с испарителем (рис. 3) и датчиком температуры (рис. 4). С помощью регулятора на лицевой панели прибора задавался температурный режим (температура испытаний). Азот, переводимый в газообразное состояние испарителем (питателем), поступал в термокамеру. При достижении заданной температуры, контроль которой осуществлялся датчиком, помещенным в камеру, подача азота приостанавливалась. Максимальное отклонение температуры от заданного значения составляло 0,5°С.

Были выполнены испытания и определены значения трещиностойкости для десяти групп ДКБ-образцов, отличающихся системой трещин и температурой испытаний:

- 1) образцы тип Т(-20)-РП – образцы с системой трещин РП, испытанные при температуре -20°С;
- 2) образцы тип Т(-20)-ТП – образцы с системой трещин ТП, испытанные при температуре -20°С;
- 3) образцы тип Т(-10)-РП – образцы с системой трещин РП, испытанные при температуре -10°С;



Рис. 2. Прибор для регулирования температуры в автоматическом режиме:

а) общий вид; б) передняя панель (управление); в) задняя панель (сеть, выходы датчика температуры и питателя).



Рис. 3. Испаритель (питатель).



Рис. 4. Датчик температуры.

Таблица 1. Значения трещиностойкости древесины с обеспеченностью 0,95, полученные для ДКБ-образцов с системами трещин типа ТП и РП при различных значениях температуры

Группа образцов	Система трещин	Температура $t$ , °C	Значение трещиностойкости $K_{IC}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>
T(-20)-РП	РП	-20	0,2523
T(-20)-ТП	ТП		0,2151
T(-10)-РП	РП	-10	0,2658
T(-10)-ТП	ТП		0,2308
T(0)-РП	РП	0	0,2812
T(0)-ТП	ТП		0,2499
T(10)-РП	РП	10	0,2816
T(10)-ТП	ТП		0,3214
T(20)-РП	РП	20	0,2815
T(20)-ТП	ТП		0,3701

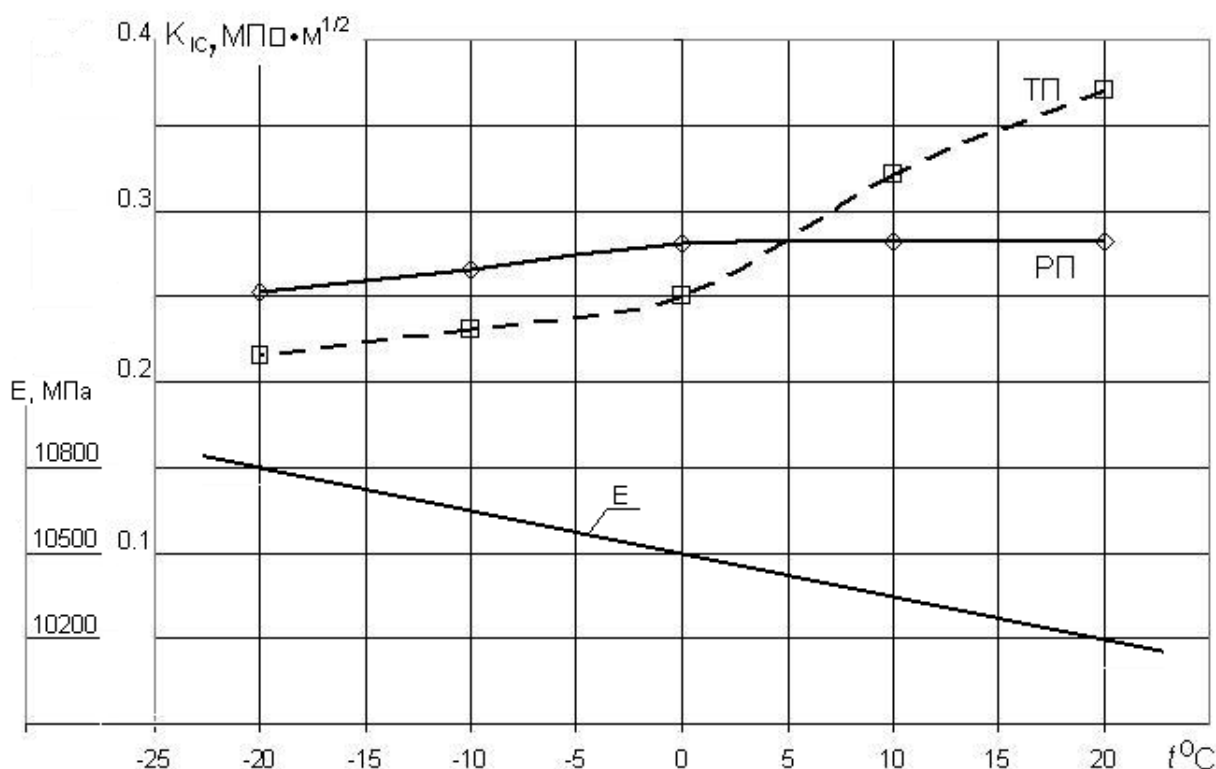


Рис. 5. Графики зависимости трещиностойкости древесины сосны от температуры для образцов с системами трещин ТП и РП; зависимости модуля упругости древесины сосны от температуры.

- 4) образцы тип T(-10)-ТП – образцы с системой трещин ТП, испытанные при температуре -10°C;
- 5) образцы тип T(0)-РП – образцы с системой трещин РП, испытанные при температуре 0°C;
- 6) образцы тип T(0)-ТП – образцы с системой трещин ТП, испытанные при температуре 0°C;
- 7) образцы тип T(10)-РП – образцы с системой трещин РП, испытанные при температуре 10°C;
- 8) образцы тип T(10)-ТП – образцы с системой трещин ТП, испытанные при температуре 10°C;
- 9) образцы тип T(20)-РП – образцы с системой трещин РП, испытанные при температуре 20°C;
- 8) образцы тип T(20)-ТП – образцы с системой трещин ТП, испытанные при температуре 20°C.

В таблице 1 представлены среднестатистические значения трещиностойкости древесины с обеспеченностью 0,95, полученные для образцов с системами трещин типа ТП и РП при различных значениях температуры.

Зависимость трещиностойкости древесины сосны от температуры для образцов с системами трещин ТП и РП имеет следующий вид:

- для образцов с трещинами системы ТП:  

$$K_{IC}^{(TP)} = 0,2499 + 0,0021t + 1,7E - 5t^2, \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$$
 при  $t = (-20;0)^\circ\text{C}$ ; (3)

- для образцов с трещинами системы РП:  

$$K_{IC}^{(RP)} = 0,2499 + 0,0083t - 0,0001t^2, \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$$
 при  $t = (0;20)^\circ\text{C}$ ; (4)

- для образцов с трещинами системы ТП:  

$$K_{IC}^{(TP)} = 0,2785 + 0,0007t - 3,0143E - 5t^2, \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$$
 при  $t = (-20;20)^\circ\text{C}$ ; (5)

Графическое представление зависимости трещиностойкости древесины сосны от температуры для образцов с системами трещин ТП и РП приведено на рис. 5.

На основании выполненных исследований можно сделать следующий вывод, трещиностойкость древесины сосны  $K_{IC}$  в исследованном диапазоне температур возрастает с увеличением температуры.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; Пер. с англ. Я.П.Горелика и Т.В.Михайловой; Под ред. С.Н.Горшина, А.Н.Кириллова, В.Е.Кузнецова, И.С.Мелехова, Л.Г.Плоткина, Б.Н.Уголева, А.С.Фрейдина, И.К.Шмурнова. – М.: Лесн. Пром-сть, 1979. – 544 с.
2. Найчук А.Я. Методика определения вязкости разрушения древесины  $K_{IC}$ . – В кн.: Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций.: Сб. науч. тр. ЦНИИпромзданий. М.:1992, с. 63-70.
3. 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.
4. 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.

УДК 624.84: 624 (075.8)

**Кулинич В.Г., Гомон М.М.**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОБУГЛИВАНИЯ НЕСУЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА**

Современный человек живёт в мире природных, техногенных, антропогенных, экологических видов опасностей. Опасности подстерегают людей почти повсеместно, в любых условиях обитания и формах деятельности. Начиная с 1991 года в Республике Беларусь наблюдается увеличение количества пожаров, в среднем, на 1-5% ежегодно. Анализ существующих тенденций позволяет предполагать дальнейшее ухудшение обстановки в стране, в части возникновения пожаров (загораний).

С целью предотвращения значительного материального ущерба от пожаров на стадии проектирования, введено понятие «предел огнестойкости строительных конструкций». Предел огнестойкости – способность конструкции противостоять действию огня. Условием огнестойкости строительных конструкций является сохранение несущих функций в условиях пожара. Требования огнестойкости к конструкции считается выполненным, если  $P_{ф} \geq P_{мр}$  ( $P_{ф}$  – фактический предел огнестойкости,  $P_{мр}$  – требуемый предел огнестойкости). В мировой практике для оценки огнестойкости деревянных конструкций используются экспериментальные и расчётные методы. Экспериментальные методы широко используются для оценки огнестойкости строительных конструкций во всём мире, они основаны на проведении испытаний образцов конструкций в огневых печах при стандартном температурном режиме [1,2]. Требования, предъявляемые к пределам огнестойкости конструкций в Республике Беларусь, определены в СНБ 2.02.01-98 [3]. Согласно данному документу предел огнестойкости деревянных несущих конструкций определяется только огневым методом по ГОСТ 30247.1-94 [4]. В настоящее время существует тенденция к применению нетрадиционного метода определения пределов огнестойкости конструкций – аналитический метод. Однако существующие алгоритмы не учитывают ряд факторов, возникающих в процессе пожара. Решение уравнений приводится к использованию стандартных (табличных) величин, к геометрическим параметрам конструкции. Одна из таких величин – это глубина обугливания. Глубина обугливания (скорость нарастания обугленного слоя) зависит от ряда физических, химических свойств. В различных источниках скорость обугливания указывается в пределах от 0,5 до 0,9 мм/мин [5]. В частности в издании «Огнестойкость строительных материалов» [5] приведены следующая скорость обугливания:

Наименьший размер сечения, мм	Скорость обугливания мм/мин
ель, сосна, с влажностью не более 9%	
- 120 мм и более	0,6
- менее 120 мм	0,7

При таком разбросе выбор скорости обугливания, необхо-

димой при расчетах, весьма затруднен. Однако мы знаем, что сечение конструкции изменяется в зависимости от скорости обугливания, что в свою очередь влияет на её несущую способность.

В данной статье предлагается математический способ определения скорости обугливания, и показана зависимость скорости обугливания от нахождения очага пожара, площади пожара, вида материала, температуры при горении твёрдых веществ, теплового потока.

В литературе, касающейся расследования пожаров, традиционно проводится средняя скорость обугливания, равная 0,6 мм/мин. В действительности же скорость горения (обугливания)  $R_w$  не является постоянной величиной, а существенно меняется в зависимости от теплового потока. Эта зависимость отображается в следующем виде [6]:

$$R_w = 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot q_d, \text{ мм/мин}, \quad (1)$$

где  $q_d$  – интенсивность теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>.

Данная формула будет отправной точкой для оценки глубины обугливания конструкций из древесины, подвергнутых воздействию высоких температур.

В качестве основного параметра, позволяющего оценивать тепловые режимы пожара, принимается среднеобъемная температура газа в горящем помещении  $T_m$  (К) или  $t_m$  (°С).

При условии, что  $t_m$  известна, для расчета усредненного суммарного коэффициента теплоотдачи к поверхностям ограждений в условиях пожара рекомендуются формулы [7]:

$$\text{при } t_m < 60^\circ\text{C} \quad \alpha = 4,07 (t_m - t_0)^{1/3} \quad (2)$$

при  $t_m > 60^\circ\text{C}$ , вплоть до максимальной температуры, в данных условиях развития пожара

$$\alpha = 11,63 \cdot \exp [0,00012 (t - t_0)], \quad (3)$$

где  $t_0$  – начальная температура среды перед пожаром (°С).

Очевидно, интенсивность теплообмена различается не только для пола и потолка, но и по высоте стен. Формулы (2), (3) дают значение коэффициента теплоотдачи условного, поскольку он отнесен к суммарной поверхности ограждений горящего помещения. Кроме того, теплообмен в таких условиях является сложным, обусловленным одновременно конвекцией и излучением, и его интенсивность зависит от формы и размеров факела пламени, температуры и оптической плотности среды.

Наиболее распространена ситуация, связанная с горением локального очага. При горении жидкостей или предмета мебели многие характеристики факела определяются следующими параметрами: максимальной температурой, эквивалентным диаметром очага горения и координатой точки по высоте факела  $Z_{max}$ , где развивается максимальная температура.