

УДК 539.3

С.В.Кузьмичев (5 курс, каф. МиПУ), Д.В.Шевченко, асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ.

1. РАВНОМЕРНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ПОЛУПЛОСКОСТИ С БЕСКОНЕЧНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПОПЕРЕЧНЫХ КРАЕВЫХ ТРЕЩИН

В линейной механике разрушения часто предполагается, что критерий разрушения может быть выражен через один параметр, в качестве которого принимается коэффициент интенсивности напряжений (КИН), J-интеграл или раскрытие в вершине трещины, другими словами, используется однопараметрический критерий разрушения. Тогда критерием разрушения, записанным, например, через КИН (K), является соотношение $K \leq K_c$, где K_c – критическое значение КИН, при достижении которого происходит разрушение материала при данной нагрузке.

Для большинства реальных конструкций аналитическое определение КИН не представляется возможным в силу сложной геометрии трещины. Поэтому для реальных конструкций КИН находится с помощью численных методов, среди которых одним из наиболее эффективных является метод конечных элементов (МКЭ).

Цель работы – КЭ определение КИН и J-интеграла для различных задач линейной механики разрушения, а также вычисление по найденным значениям J-интеграла значений КИН и сравнение их с приведенными в литературе.

Задача решена с использованием линейно-упругой изотропной модели материала. Материал – сталь: модуль Юнга $E = 210 \text{ ГПа}$ и коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$. 2-D КЭ модель содержит плоские 8-узловые элементы PLANE82, в каждом узле которого две степени свободы – компоненты вектора перемещения вдоль осей 0X и 0Y (U_x и U_y). Задачи теории упругости решены в рамках гипотезы о плоском напряженном состоянии.

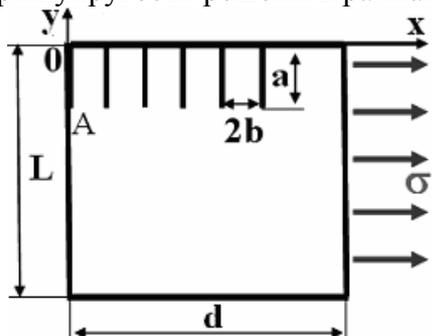


Рис. 1. Геометрическая модель задачи

пластины с отношением $L/a = 100$ (рис. 1). Нагрузка: $\sigma_x|_{x=d} = \sigma = 100 \text{ МПа}$. В качестве модели бесконечного числа трещин рассмотрим полуплоскость с 13 поперечными краевыми трещинами и сравним значение КИН для вершины A первой трещины.

Характеристики 2-D КЭ модели: число элементов $NE = 26\ 180$, число узлов $NN = 78\ 789$, число степеней свободы $NDF = 157\ 478$.

Сравнение значений для КИН, полученных разными методами при $NDF \approx 200\ 000$, приведено в табл. 1.

На рис. 2-4 показаны графики сходимости КИН по пути интегрирования и по числу

Рассмотрим полуплоскость с бесконечной периодической системой поперечных краевых трещин равной длины $a = 0.1 \text{ м}$, расстояние между трещинами $b = 0.1 \text{ м}$. Вдали от трещин вдоль оси 0X действуют равномерно растягивающие напряжения $\sigma = 100 \text{ МПа}$.

Аналитическое решение задачи имеет вид [1]:

$$K_I^{\text{теор}} = F(a/b)\sigma\sqrt{\pi a} = 31.38 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

В силу симметрии геометрии и граничных условий относительно оси 0Y рассмотрим половину

степеней свободы, а также показана зависимость КИН для каждой трещины от количества трещин.

Таблица 1.

МЕТОД	$K_I, \text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	$\varepsilon, \%$
Асимптотическое разложение	32.68	4.00
Сингулярные элементы	33.87	7.85
J - интеграл	33.77	7.57
Аналитическое решение [1]	31.38	-

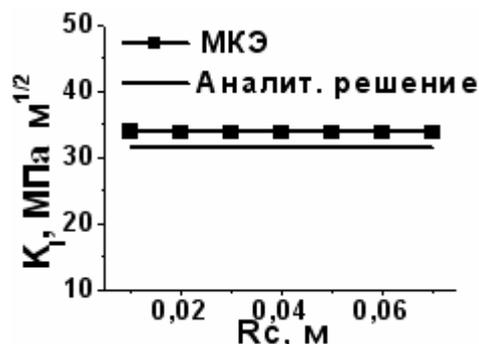
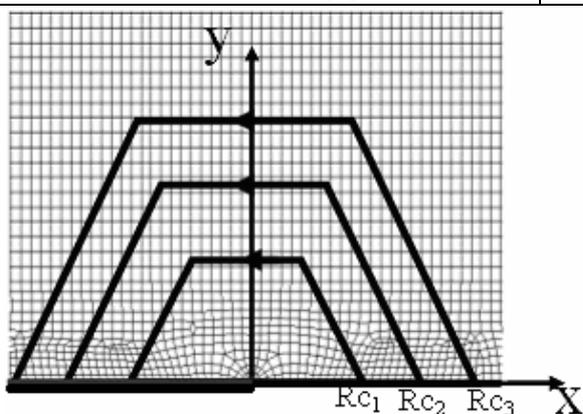


Рис. 2. Сходимость J-интеграла по пути интегрирования (где $K_I = \sqrt{J \cdot E}$)

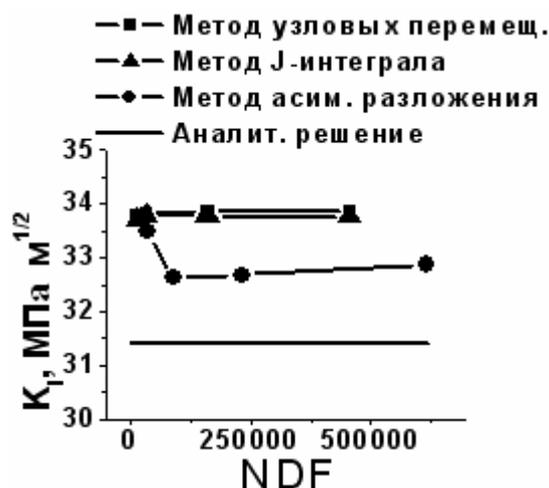


Рис. 3. Зависимость КИН от числа степеней свободы

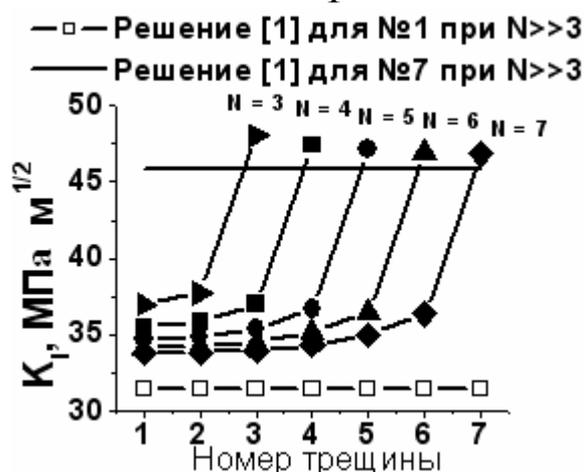


Рис. 4. Зависимости значений КИН для каждой трещины от количества трещин (метод узловых перемещений)

Из данных, представленных на рисунках, можно сделать следующие выводы:

- J-интеграл, вычисленный по компонентам тензора напряжения, найденным с помощью МКЭ, не зависит от пути интегрирования;
- метод J-интеграла, наряду с методом узловых перемещений, имеет более высокую сходимость, в отличие от метода асимптотического разложения;
- при увеличении количества трещин решение, полученное с помощью МКЭ, сходится к решению [1].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мураками Ю. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений, т.2 – М.: Мир, 1990.