



2. Орлов С.П. Организация компьютерных систем: учебное пособие/С.П. Орлов, Н.В. Ефимушкина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 188 с.

3. Организация вычислительных машин и систем/ С.П.Орлов, Н.В. Ефимушкина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 304 с.

Р.М. Жаббаров

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕХАНИКЕ (МЕТОД ФОТОУПРУГОСТИ)

(Самарский университет)

Настоящее исследование посвящено цифровой обработке изображений (интерференционных картин), получаемых в результате применения интерференционно-оптических методов в механике разрушения. В работе использован метод цифровой фотоупругости для построения многопараметрического асимптотического разложения полей напряжений и перемещений в окрестности вершины трещины в изотропном линейно упругом материале. Фотоупругостью называется возникновение в изотропных телах оптической анизотропии под действием напряжений. Фотоупругость возникает вследствие зависимости диэлектрической проницаемости вещества от деформации и проявляется в виде двойного лучепреломления под воздействием механических нагрузок. Метод цифровой фотоупругости особенно удобен для экспериментального определения поля напряжений у вершины трещины

Для описания поля напряжений вблизи вершины трещины используется многопараметрическое асимптотическое разложение М.Уильямса [1]. Для каждой конфигурации образца с трещиной или угловым вырезом многокомпонентное асимптотическое разложение содержит последовательность коэффициентов (масштабных множителей), которые зависят от геометрии образца (его размеров, формы, длины надреза или трещины) и системы приложенных нагрузок. В литературе хорошо известны решения для первых двух слагаемых в асимптотических разложениях поля напряжений: для коэффициентов интенсивности напряжений и  $T$ -напряжений для ряда конфигураций образцов с трещиной [2, 3]. Более сложной задачей является определение высших приближений как функций приложенной нагрузки и геометрии образца с трещиной. В настоящее время в механике разрушения сложилось понимание необходимости вычисления большего количества слагаемых; необходимо удерживать высшие слагаемые в полном асимптотическом разложении Уильямса для различных образцов [3-5].

В данной работе приводится решение задачи идентификации коэффициентов асимптотического разложения Уильямса для пластины с центральной трещиной, находящейся под воздействием растягивающей нагрузки. Вычисление коэффициентов основано на аналитическом решении задачи, которая получается с помощью классического комплексного представления решения плоской задачи теории упругости.



Был проведен ряд вычислений для идентификации коэффициентов асимптотического разложения Уильямса для пластины, находящейся под действием растягивающего напряжения. Известными данными в задаче являются интерференционные картины – картины изохроматических полос для различных величин нагрузок; известны длина, ширина и толщина образца, а также длина трещины (рис. 1).

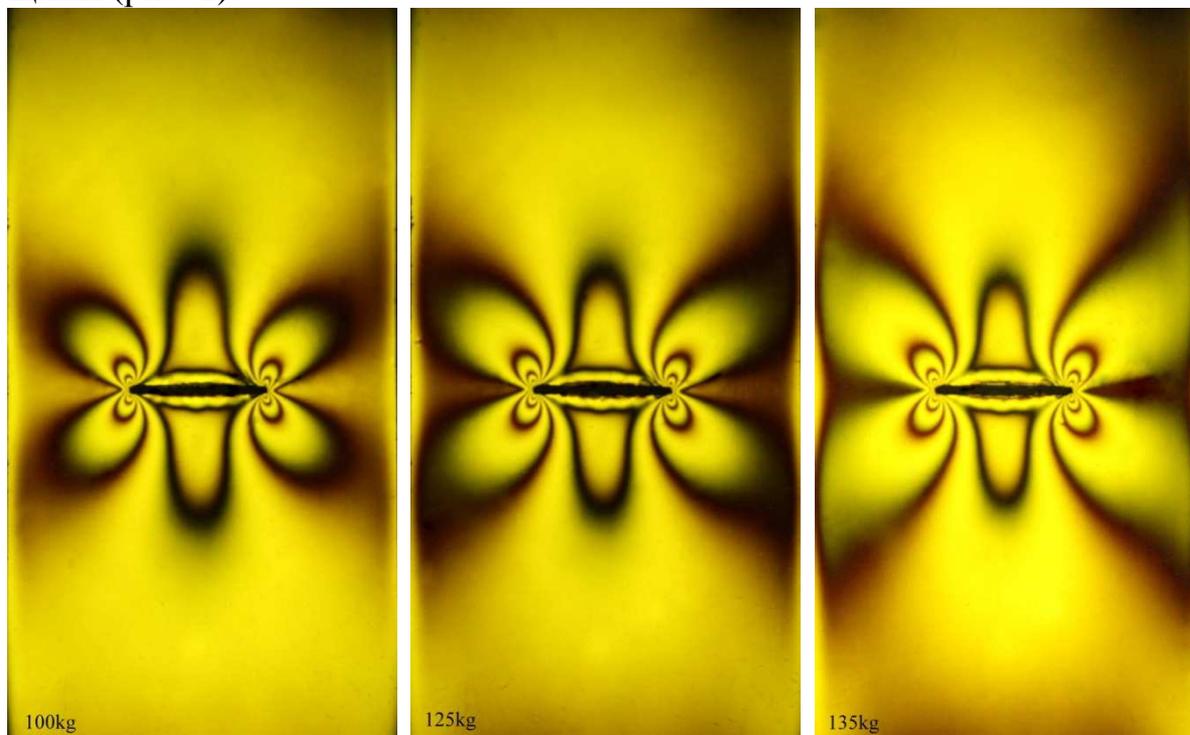


Рис. 1 Картины изохроматических полос в образце с центральной трещиной, нагруженной различными силами

Для каждой нагрузки производится выборка последовательности экспериментальных точек на определенной изохrome в наиболее темных участках изображения. Точность решения зависит от количества удерживаемых слагаемых в асимптотическом разложении, но в то же время увеличение количества удерживаемых слагаемых усложняет решение задачи.

Разработан метод вычисления коэффициентов полного асимптотического разложения М. Уильямса. Задача, в силу своей громоздкости, решена в системе компьютерной алгебры. В разработанной программе учитываются геометрические размеры образца, приложенная нагрузка и различное количество слагаемых в полном асимптотическом разложении поля напряжений. В зависимости от количества выбранных экспериментальных точек и количества удерживаемых слагаемых в многопараметрическом асимптотическом разложении Уильямса формируется  $N$  систем из  $M$  уравнений, где  $N$  - количество экспериментальных точек, а  $M$  - количество слагаемых асимптотического разложения. Итоговые результаты решения формируются путем расчета среднего значения для каждого коэффициента разложения. В работе приведены сравнения с известными результатами аналитического решения.

Проведена серия вычислительных экспериментов в многофункциональном комплексе Simulia ABAQUS (Student Edition). В программе Simulia Abaqus



была смоделирована модель образца с трещиной с приложенной нагрузкой. Результаты вычислительного эксперимента показали близкие к аналитическому решению результаты, были вычислены коэффициент концентрации напряжения и  $T$ -напряжения.

Основной проблемой для решения такого рода задач является выбор экспериментальных точек. Так как данная процедура выполняется вручную, точность решения с большой вероятностью может оказаться малой, поэтому существенна цифровая обработка изображений. Изображение, которое получено в результате опытного эксперимента следует обработать, используя необходимое программное обеспечение, для получения наиболее точных координат экспериментальных точек, что способствует более точным результатам.

В ходе вычислительных экспериментов был замечен интересный факт: в нескольких крайних точках выбранной изохромы значения коэффициентов асимптотического разложения сильно отличаются от остальных. Это является следствием недостаточного количества удерживаемых слагаемых; выяснилось, что чем дальше находится выбранная точка от вершины трещины, тем больше необходимо удерживать слагаемых асимптотического разложения Уильямса, поэтому предлагается решение, при котором фиксируется расстояние от кончика трещины и выбираются несколько точек на изохромах.

### Литература

[1] Williams M.L. On the stress distribution at the base of a stationary crack // Trans. ASME. Journal of Applied Mechanics. 1957. V. 24. P. 109-114.

[2] Степанова Л.В., Росляков П.С. Полное асимптотическое разложение М. Уильямса у вершин двух коллинеарных трещин конечной длины в бесконечной пластине// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2015. - № 4. - С. 188-225.

[3] Stepanova L.V., Roslyakov P.S. Multi-parameter description of the crack-tip stress field: Analytic determination of coefficients of crack-tip stress expansions in the vicinity of the crack tips of two finite cracks in an infinite plane medium// International Journal of Solids and Structures. - 2016. № 100-101. - P. 11-28.

[4] Ayatollahi M.R., Moazzami M. Digital image correlation method for calculating coefficients of Williams expansion in compact tension// Optic and Lasers in Engineering. 2017. V. 90. p. 26-33.

[5] Lychak O., Holyns'kiy I. Improving the accuracy of derivation of the Williams' series parameters under mixed (I+II) mode loading by compensation of measurement bias in the stress field components data// Measurement Science and Technology. 2016. V. 27. №12.