

Моделирование движения жидкости гидроразрыва в трещине, изменяющей свои геометрические характеристики.

Сабиргалиев Р.Э., Быков А.А., Завьялова Н.А.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Известно что скорость движения границы трещины при хрупком разрушении составляет $0.3 \div 0.6$ продольной скорости звука в зависимости от коэффициента Пуассона материала [1]. Для расчета трещины ГРП это означает, что граница области, занятой жидкостью, и граница трещины не совпадают. Существуют теоретические работы, учитывающие данное явление [2] при расчете плоской трещины. В них граница жидкости определяется из условия сохранения массы. Но для расчета распространения жидкости в трёхмерной трещине необходимо решать задачу течения со свободной поверхностью.

Принимая во внимание, что раскрытие трещины много меньше двух других линейных размеров, а так же то, что реализуется профиль течения Пуазейля в плоском канале, можно записать систему уравнений [3], описывающую процесс развития трещины:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h(x, y)}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\frac{h^3}{12\mu} (-\nabla p + \rho \mathbf{g}) \right) = v_{\text{притока}} \\ p(x, y) = -\frac{E}{4\pi(1-\nu^2)} \Delta_{xy} \int_{\Omega} \frac{h(x', y') dx' dy'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} \end{array} \right. \quad (1)$$

В приведенной $h(x, y)$ системе – раскрытие трещины, $v_{\text{притока}}$ – приток жидкости в трещину из скважины, p – гидродинамическое давление, \mathbf{g} – ускорение свободного падения, Ω – область распространения трещины.

Движение жидкости со свободной поверхностью в трещине согласно [4], описывается уравнением:

$$\frac{\partial F(x, y)}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) F(x, y) = 0. \quad (2)$$

В приведенном уравнении $F(x, y)$ – объемная доля жидкости в элементарном объеме ячейки, \mathbf{v} - скорость жидкости.

Целью данной работы является численное моделирование течения жидкости ГРП внутри единичной трёхмерной трещины, растущей с течением времени.

Для численного решения совокупности уравнений (1)-(2) нужно ввести пространственную сетку. Помимо интегрирования первого уравнения системы (1), а также уравнения (2), необходимо реализовать численное интегрирование сеточной функции

$$f(x, y) = \frac{h(x', y')}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}},$$

имеющую особенность в точке $x = x', y = y'$.

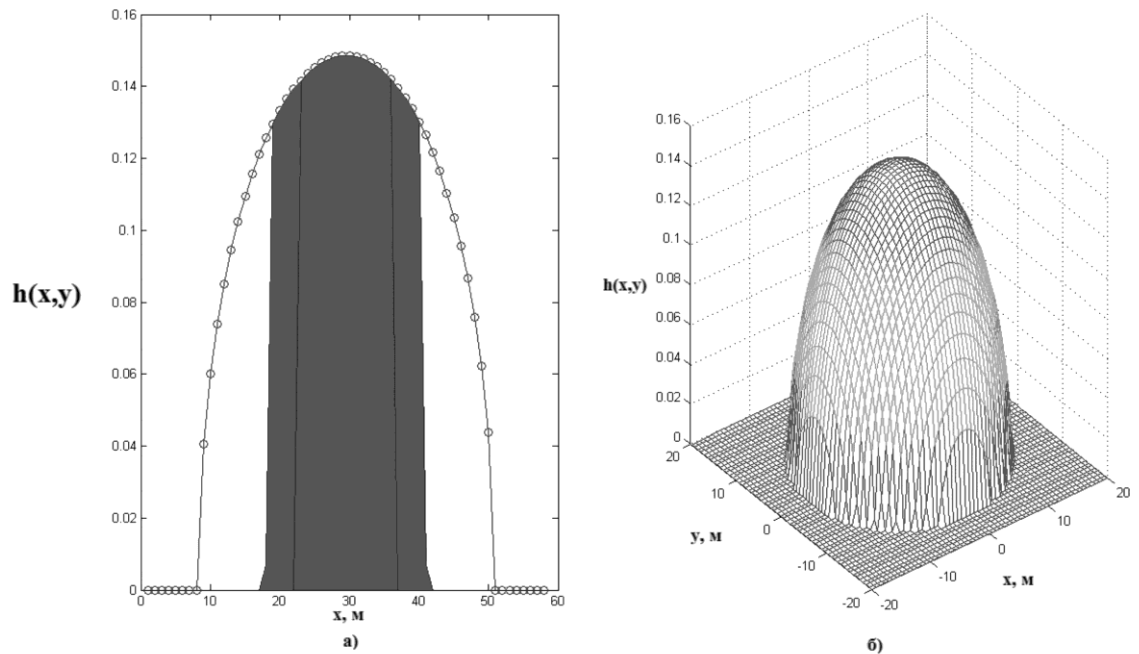


Рис. 1. а) Представлено вертикальное сечение модельной эллиптической трещины. Серым цветом, закрашена рассчитанная численно область, занятая дотекшей от источника жидкостью б) Характерный вид эллиптической трещины.

Литература

1. Селиванов В.В. Механика разрушения деформируемого тела: Учебник для вузов. – М.: Изд-ва МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 204 с.
2. E. Detournay Propagation Regimes of Fluid-Driven Fractures in Impermeable Rocks// Int. J. Geomech. 2004.4: 35-45 с.
3. E. Atroshchenko Stress Intensity Factors for Elliptical and Semi-Elliptical cracks subjected to an arbitrary mode I loading. - A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering. – 2010.
4. D. Gerlach, G. Tomar, G. Biswas, F. Durst Comparison of volume-of-fluid methods for surface tension-dominant two-phase flows. - International Journal of Heat and Mass Transfer 49. - 2006.