

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 15-01-00361.

Принцип неполной связанности в моделях гидроразрыва в верхних слоях коры

А. В. Каракин

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

avkarakin@yandex.ru

Рассматривается класс неполно связанных плоских аналитических задач о медленных движениях равновесной трещины ГРП в пороупругой среде земной коры при наличии в ней разломов. Аналитическими методами исследуются вязкие движения жидкости в самой трещине и вызванные этими движениями деформации и фильтрация во внешней среде. Движения создаются закачкой жидкости в скважину. Течение в трещине описывается уравнениями гидродинамики Стокса в приближении смазочного слоя. Внешняя задача описывается уравнениями пороупругости. Жидкость может фильтроваться через стенки трещины. Этому исследованию посвящен цикл публикаций. Цель указанных работ состоит в том, чтобы понять суть геомеханических процессов, происходящих при гидроразрыве в пороупругих средах, а также быть тестом для численных моделей.

Областью определения однородных и изотропных уравнений пороупругости является плоскость с разрезами. Границы трещины являются проницаемыми. В клюве трещины задается условие Ирвина. Как внешняя, так и внутренняя задачи содержат малый параметр ε , который имеет смысл величины раскрытия трещины, а также упругой деформации $\varepsilon = \theta^*$. Здесь θ обозначает объемную деформацию среды, звездочка – ее максимальное значение. На бесконечности возмущения затухают. Специфика пороупругих задач состоит в том, что около трещины возникает тонкий пограничный слой, в котором возникают интенсивные фильтрационные процессы.

Основной метод решения состоит в том, что производится расщепление решения на упругую и фильтрационную составляющие. Это расщепление удовлетворяет принципу неполной связанности,

т.е. решаются отдельные независимые задачи о течении в трещине, о пороупругих деформациях во внешней области и о фильтрации в тонком пограничном слое. Тем не менее, задача остается связанной. Исследуются частные случаи автомодельных задач, которые решаются аналитически. Отдельно рассматривается крестообразная трещина, которая имеет целью качественно исследовать слоисто-неоднородную трещиноватую структуру среды при наличии в ней разломов. Рассматриваются два крайних режима движения трещины ГРП – toughness-dominated и viscous-dominated режимы.

Режим toughness-dominated допускает наиболее полное исследование без ограничений на форму движения во времени. Режим viscous-dominated содержит больше степеней свободы. Поэтому для получения конечного решения для прямолинейной трещины следует ограничиться автомодельным режимом закачки. Крестообразная трещина также исследовалась в двух режимах – toughness-dominated и viscous-dominated. В обоих случаях использовался аппарат комплексных переменных и конформного преобразования аналитических функций. В первом случае решение было представлено в виде конечного аналитического выражения. Во втором случае решение получено в виде ряда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 15-11-00021.

Литература

1. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Делимость земной коры и палеонапряжения в сейсмоактивных нефтегазоносных регионах Земли. М.: ОИФЗ РАН, 1997.
2. Каракин А.В. Принцип неполной связанности в моделях пороупругих сред // Математическое моделирование, 18:2 (2006), 24–42.
3. Каракин А.В., Рамазанов М.М., Борисов В.Е. Проблема неполной связанности уравнений гидроразрыва // Математическое моделирование, 29:6 (2017), 115–134.
4. Лаврентьев М.М., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1973.
5. Рамазанов М.М., Каракин А.В., Борисов В.Е., Меньшов И.С., Савенков Е.Б. Автомодельное решение задачи о трещине ГРП для пороупругой среды // Математическое моделирование, 29:4 (2017), 59–74.