

УДК 532.542

Связанное решение задачи роста трещины гидроразрыва пласта и течения неньютоновской жидкости и проппанта в канале трещины

С.А. Буденный^{1,2}, Р.Н. Никитин^{1,2}, А.В. Бочкарев^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Инжиниринговый центр МФТИ

В работе рассмотрено совместное решение задачи роста трещины гидроразрыва пласта в многослойной литологии, течения неньютоновской жидкости и переноса проппанта в канале трещины. Рост трещины рассматривается в рамках линейной теории упругости, силовым критерием разрушения является критерий Ирвина.

Перенос смеси жидкости и проппанта в канале трещины рассмотрен в рамках модели смеси (mixture model). Для утечек в пласт использована модель Картера, расширенная до случая многослойной литологии. В качестве реологической модели рабочей жидкости выбрана модель Оствальда де Ваале, называемая также степенной моделью.

При решении задачи течения жидкости в трещине важно учесть два фактора: наличие других частиц и конечный размер канала. Первый эффект можно учесть переходом к эффективной вязкости как функции концентрации. Корректный учет частиц твердой фазы требует рассмотрения в уравнении сохранения момента членов, отвечающих за гомогенное и гетерогенное взаимодействия. Решение такой задачи выходит за рамки разумных пределов времени расчета. Общепринятое решение заключается в использовании эмпирической зависимости вязкости от концентрации, которая гарантирует рост вязкости смеси с увеличением концентрации проппанта. Важно отметить, что рассмотренная зависимость также применима к индексу консистенции K в степенной модели неньютоновского поведения.

Совместное решение задачи роста трещины и течения двухфазной системы позволяет решать ряд прикладных задач в контексте оптимального дизайна гидроразрыва пласта в многослойной литологии. Основным интерес представляют задача о корректном приобщении соседних слоев, задача эффективности закрепления трещины на проппант, задача о контроле конечного экранирования с целью управления геометрией трещины или предотвращения технологического стопа. Ниже представлены примеры расчетов.

На рисунке 1. приведен пример расчета роста трещины в многослойной литологии. Расход смеси задан постоянным $2 \text{ м}^3/\text{мин}$. Профиль трещины соответствует различным моментам времени.

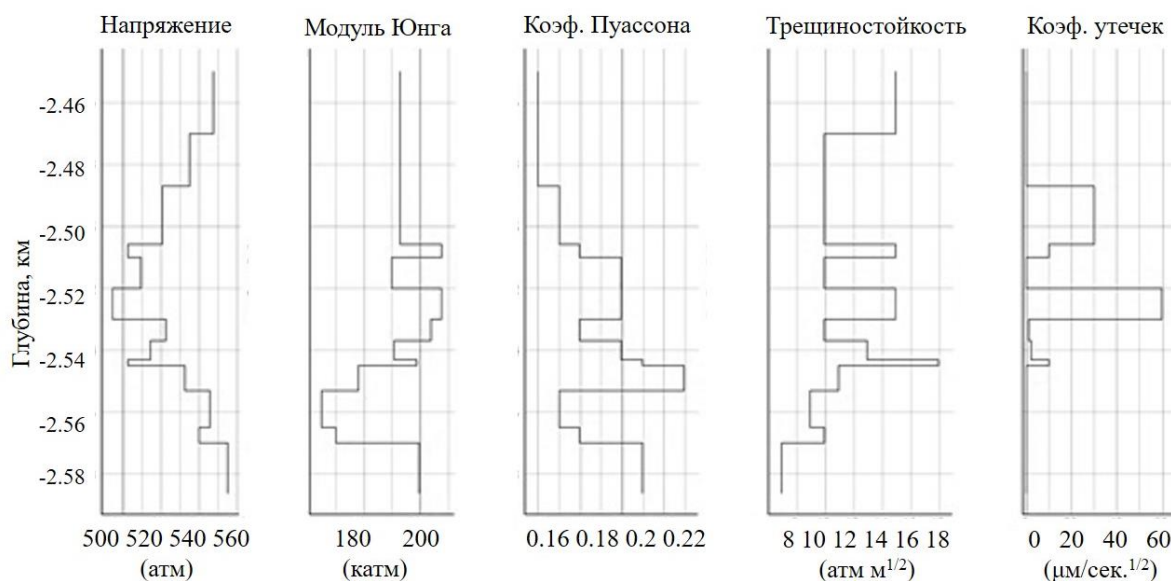


Рис. 1. Литология

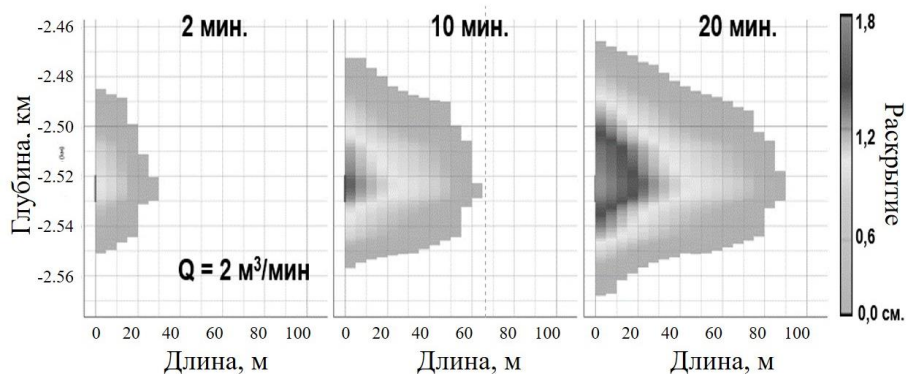


Рис. 2. Моделирование роста трещины в сложной литологии

Далее рассмотрен пример с проявлением эффекта концевого экранирования. На устье трещины концентрация проппанта задана равной $c_0 = 0.2$, расход смеси $q_0 = 0.02$ м³/сек. Качественно наблюдаются два эффекта: увеличение объемной доли проппанта по мере прохождения вдоль канала трещины и осаждение за счет сил гравитации. В момент времени $t = 2000$ концентрация проппанта достигает критического значения на кончике трещины, рост в направлении x приостанавливается. Моделирование данного эффекта позволяет контролировать геометрию трещины, а также избежать преждевременного технологического стопа.

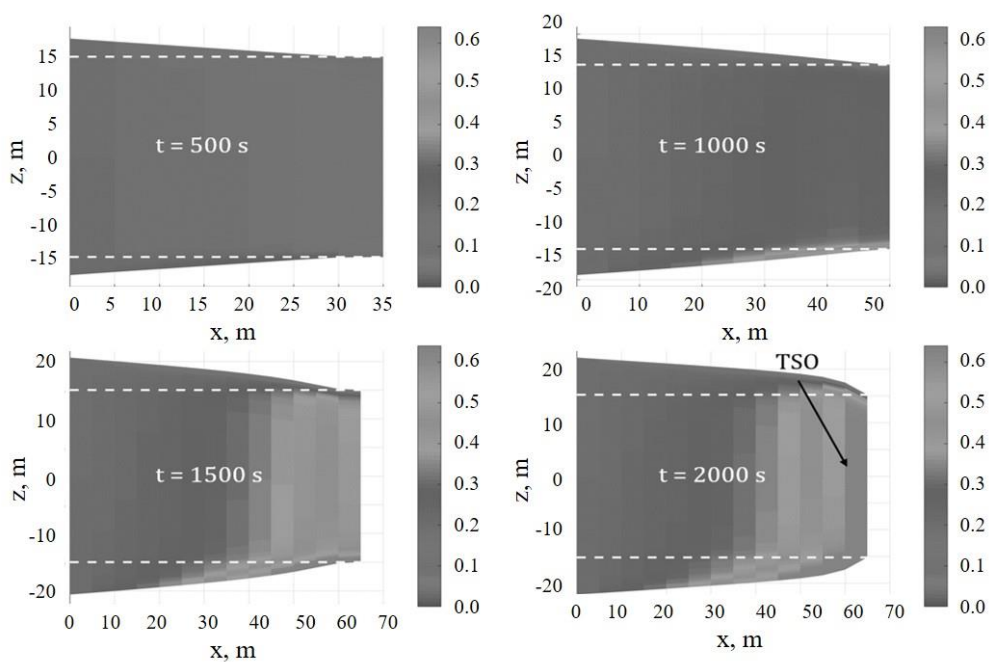


Рис. 3. Динамика роста профиля трещины (вид сбоку) и переноса проппанта (цветовая карта) в различные моменты времени. В момент времени $t = 2000$ сек. наблюдается эффект концевого экранирования

Результаты, получаемые в разработанном симуляторе, согласуются качественно и количественно с результатами, полученными в существующих коммерческих симуляторах. Разработанный симулятор позволяет решать ряд актуальных прикладных задач в контексте эффективного дизайна ГРП.

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации (проект №14.581.21.0008 от 03.10.2014 г., уникальный идентификатор RFMEFI58114X0008).

Литература

1. *J. Adachi, E. Siebrits, A. Peirce, J. Desroches* Computer simulation of hydraulic fractures // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2007. V. 44. P. 739
2. *M. M. Rahman, M. K. Rahman* A Review of Hydraulic Fracture Models and Development of an Improved Pseudo-3D Model for Stimulating Tight Oil/Gas Sand // 2010. V.32
3. *José I. Adachi, Emmanuel Detournay, Anthony P. Peirce* Analysis of the classical pseudo-3D model for hydraulic fracture with equilibrium height growth across stress barriers // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2010. V. 47. P. 625
4. *E.V. Dontsov, A.P. Peirce* An enhanced pseudo-3D model for hydraulic fracturing accounting for viscous height growth, non-local elasticity, and lateral toughness // Engineering Fracture Mechanics 2015. V. 142. P. 116
5. *E.V. Dontsov, A.P. Peirce* Proppant transport in hydraulic fracturing: Crack tip screen-out in KGD and P3D models // International Journal of Solids and Structures 2015. V. 63. P. 206