

## Моделирование течения смеси рабочей жидкости и пропанта по стволу скважины и роста трещин гидроразрыва пласта

*Р. П. Гончар<sup>1,2</sup>, Р. М. Ситдиков<sup>1,2</sup>, С. А. Буденный<sup>1,2</sup>, А. В. Бочкарев<sup>1,2</sup>, Р. Н. Никитин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Инжиниринговый центр МФТИ

В последнее время наиболее предпочтительным методом увеличения нефтеотдачи слабопроницаемых коллекторов является метод многостадийного гидроразрыва пласта. Данный метод заключается в одновременном возникновении и распространении системы трещин гидроразрыва. Целью данной работы является создание численной модели, которая позволяет совместно рассчитывать течение смеси жидкости разрыва и пропанта в скважине и одновременный рост трещин в условиях одной стадии, а также определять свойства жидкости (смеси) и режим потока в заданной точке ствола скважины.

В данной работе рассматривается нестационарное квази-одномерное течение сжимаемой неньютоновской жидкости и пропанта в стволе скважины сложной конструкции (переменной площади сечения) и произвольного профиля. При расчете распространения трещины используется RKN-модель [1], в которой предполагается, что высота трещины остается постоянной, и она распространяется только в одном направлении. Одновременное возникновение системы трещин рассматривается на горизонтальном участке скважины [2]. Считается, что трещина возникает при достижении в скважине критического давления.

Моделирование течения сжимаемой неньютоновской жидкости и пропанта проводится путем численного решения уравнений, описывающих законы сохранения массы для обеих фаз, а также закона сохранения импульса для смеси [2, 3] вдоль одномерной криволинейной координаты  $s$ :

$$A \frac{\partial \rho_f (1-c)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_f (1-c) A v}{\partial s} = 0, \quad (1)$$

$$A \frac{\partial \rho_p c}{\partial t} + \frac{\partial \rho_p c A v}{\partial s} = 0, \quad (2)$$

$$A \frac{\partial \rho_s v}{\partial t} + \frac{\partial \rho_s A v}{\partial s} = - \frac{\partial A p}{\partial s} + A \rho_s g \cos \alpha - \frac{A \tau_w}{D}, \quad (3)$$

здесь  $A, D$  – площадь сечения скважины и ее диаметр,  $\rho_f, \rho_p$  – плотности жидкости и пропанта, соответственно,  $c$  – объемная концентрация пропанта,  $v$  – скорость течения,  $\rho_s = (1-c)\rho_f + c\rho_p$  – плотность смеси,  $p$  – давление,  $\alpha$  – угол наклона скважины,  $\tau_w = \frac{\rho_s f(\text{Re}, \varepsilon) v^2}{2}$  – касательное напряжение на стенке скважины, определяющее потери на трение,  $f$  – коэффициент трения, зависящий от числа Рейнольдса  $\text{Re}$  и относительной шероховатости стенок скважины  $\varepsilon = \frac{e}{D}$ ,  $e$  – шероховатость стенок скважины.

Коэффициент трения зависит от режима потока и в случае ламинарного течения определяется следующим уравнением:

$$f = \frac{16}{\text{Re}} \quad (4)$$

Для турбулентного течения используется корреляция [4]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left( \left( \frac{\varepsilon}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{\text{Re}} \right) \quad (5)$$

В качестве результатов численного моделирования рассматриваются расход смеси, концентрация пропанга, реологические параметры жидкости разрыва на входе в каждую трещину по заданному расходу рабочей смеси и пропанга на устье скважины.

### Литература

1. *Nordgren R. P.* Propagation of a vertical hydraulic fracture // Soc. Petrol. Eng. Journal. 1972. Vol. 12. N. 4. P. 306–314
2. *B. Lecampion, J. Desroches.* Simultaneous initiation and growth of multiple radial hydraulic fractures from a horizontal wellbore // J. Mech. Phys. Solids 82 (2015) 235–258
3. *Y. Li, N. Bjordalen, E. Kuru.* Numerical modelling of cuttings transport in horizontal wells using conventional drilling fluids // Journal of Canadian Petroleum Technology, July 2007, Vol. 46
4. *Haaland S. E.* Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow // J. Fluids Eng. 105(1), 1983. P. 89-90