

УДК 004.942; 622.24

РАСЧЁТ ИСТЕЧЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ИЗ НАСАДКИ БУРОВОГО ДОЛОТА В ANSYS FLUENT

Тютяев А.В., Сморкалов Д.В.

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»,
Самара, e-mail: tyutyayev@mail.ru

В данной задаче моделируется истечение промывочной жидкости из сопла долота в забой с размытием породы. В качестве промывочной жидкости для начала исследования были использованы параметры воды. Решение такой задачи основывается на численном решении уравнения Навье – Стокса, реализованного в ANSYS Fluent. Построена трёхмерная модель цилиндрической внешней насадки, находящейся в затопленном пространстве на расстоянии четырёх диаметров от породы. Была наложена тетраэдрическая сетка на заполненное жидкостью пространство, а также гексаэдрическая сетка на часть модели, имитирующую породу. Вблизи стенок создан пограничный слой. В результате расчёта получена картина воздействия струи на породу, подобно воздействию струи промывочной жидкости на забой во время бурения. Получены распределения давлений, вектора скоростей, изменение объёмной доли породы и глубина проникновения струи.

Ключевые слова: промывочная жидкость, затопленная струя, численное моделирование, CFD расчёт, ANSYS Fluent, двухфазная среда, дискретная фаза

CALCULATION OF EXPIRATION WASHING LIQUID FROM DRILL BIT NOZZLE IN ANSYS FLUENT

Tyutyayev A.V., Smorkalov D.V.

Samara state technical university, Samara, e-mail: tyutyayev@mail.ru

This problem is modeled outflow of drilling fluid from the nozzle to the face with a bit blur breed. As the washing liquid for the study parameters were used water. Solution of this problem is based on the numerical solution of Navier-Stokes equations implemented in ANSYS Fluent. The 3-D model of the cylindrical outer nozzle located in the flooded area at a distance of four diameters ranging from rock. Was imposed on the tetrahedral mesh filled with fluid space, as well as hexahedral mesh on part of the model that simulates the soil. Near the walls created by the boundary layer. As a result of the calculation to get a picture on the impact of the jet rock, like the effects of jet wash liquid to the bottom hole during drilling. The distributions of pressure, velocity vector, changing the volume fraction of the rocks and the depth of penetration of the jet.

Keywords: wash liquid, submerged jet, numerical modeling, CFD calculation, ANSYS Fluent, two-phase medium, discontinuous phase

Современные методы проектирования породоразрушающего инструмента находятся на высоком уровне, но для получения максимального КПД от долота при бурении нефтяных и газовых скважин необходимо учитывать множество факторов [1]. Одним из этих факторов являются гидродинамические параметры потока промывочной жидкости в процессе бурения. Так как проводить анализ процессов, происходящих при бурении скважины, довольно сложно из-за большой глубины, то решением данной задачи может быть моделирование физических процессов бурения методом конечных элементов. В настоящее время инженерами по всему миру используется множество инструментов для проведения CFD расчётов, однако международный многолетний опыт использования программ данного типа говорит о преимуществе программного комплекса ANSYS Fluent для конкретной задачи. Важным в данном исследовании является то, что в программном комплексе ANSYS Fluent есть возможность моделирования двухфазных и многокомпонентных сред, в том числе дискретных гранулированных частиц, образующихся

в результате разрушения породы. Для выполнения расчётов данного типа необходимы большие вычислительные мощности, однако использование средних параметров среды позволяет определить оптимальное соотношение между точностью получения результатов и временем, затраченным на расчёт. Такой подход позволит создать методику расчётов конструкций буровых долот на стадии проектирования породоразрушающего инструмента, а также системы промывки буровых долот, что значительно повысит основные показатели бурения, такие как механическая скорость и величина проходки на долото.

Постановка задачи

В данной задаче моделируется истечение промывочной жидкости из сопла долота в забой с размытием породы. В качестве промывочной жидкости для начала исследования были использованы параметры воды. Решение такой задачи основывается на численном решении уравнения Навье – Стокса, реализованного в ANSYS Fluent, а момент перехода от ламинарного режима к турбулентному определяется критерием

Рейнольдса [2], определяющим соотношение вязких и инерционных сил в потоке,

$$R_e = \frac{\rho \vartheta D_{\Gamma}}{\eta},$$

где ρ – плотность среды; D_{Γ} – гидравлический диаметр; ϑ – скорость потока жидкости; η – динамическая вязкость среды.

$$\mu_{s,kin} = \frac{10\rho_s d_s \sqrt{\Theta_s \pi}}{96\alpha_s (1+e_{ss}) g_{0,ss}} \left[1 + \frac{4}{5} g_{0,ss} \alpha_s (1+e_{ss}) \right]^2 \alpha_s.$$

Объёмная вязкость сыпучих веществ определяет сопротивление при расширении и сжатии. Её можно выразить соотношением [7]:

$$\lambda_s = \frac{4}{3} \alpha_s \rho_s d_s g_{0,ss} (1+e_{ss}) \left(\frac{\Theta_s}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

В плотных потоках при низкой скорости сдвига, где высокий предел концентрации твёрдых частиц, возникают напряжения в основном за счёт трения между частицами. Вязкость твёрдых частиц вычисляться по умолчанию не может, поэтому при определении вязкостного трения используется уравнение [8]:

$$\mu_{s,f,r} = \frac{\rho_s \sin \phi}{2\sqrt{I_{2D}}},$$

где p_s – давление твёрдых частиц; ϕ – угол внутреннего трения, а I_{2D} – второй инвариант девиатора тензора напряжений.

Для моделирования гидродинамики течения использовалась двухфазная модель, где одна фаза представляет собой дискретные гранулированные частицы горной породы, другая фаза – промывочная жидкость. Для описания изменения свойств породы использовались эмпирические данные, полученные в работах [5–8].

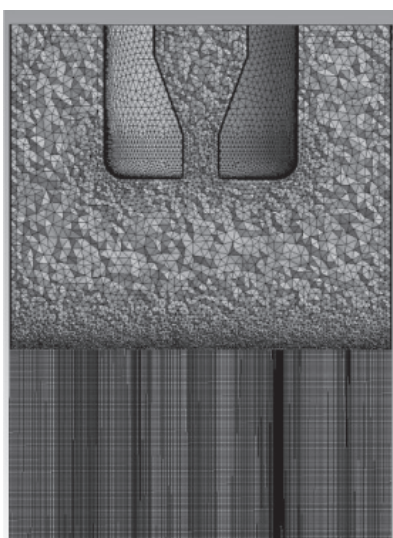
Изменение вязкости гранулированных частиц описывается уравнением Gidaspow [6]:

В потоках с высокой объёмной долей твёрдого вещества мгновенное столкновение является менее важным. Применение кинетической теории для таких потоков больше не является необходимостью, так как частицы находятся в контакте и в результате трения напряжения должны быть приняты во внимание.

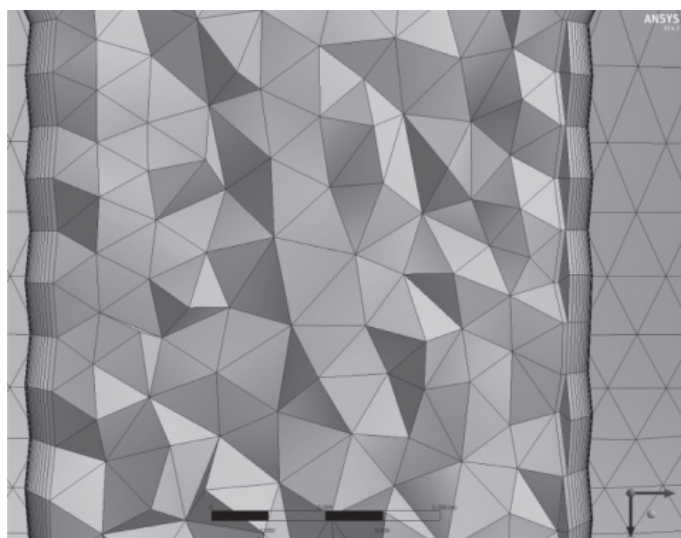
В данной части исследование началось с расчёта мягких пород, 1–2 по коду IADC, что соответствует очень мягким и мягким породам с углом внутреннего трения 14–23°.

Численное моделирование и результаты расчётов

Для выполнения CFD расчёта была построена сеточная модель (рис. 1, а), состоящая из тетраэдрической и гексаэдрической сеток на двух доменах, соединённых проницаемым интерфейсом. Размерность сетки 7,5 млн элементов с максимальной скошенностью 0,84. Так же был создан призматический пограничный слой толщиной 1 мм (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Сеточная модель:
а – всей расчётной области; б – канала и пограничного слоя

Задача решалась в нестационарной постановке, с использованием модели турбулентности $k-\epsilon$. Было получено, что при расходе в 1 кг/с промывочной жидкости

через затопленную цилиндрическую насадку диаметром 20 мм через 1 секунду течение выходит на установившийся режим (рис. 2).

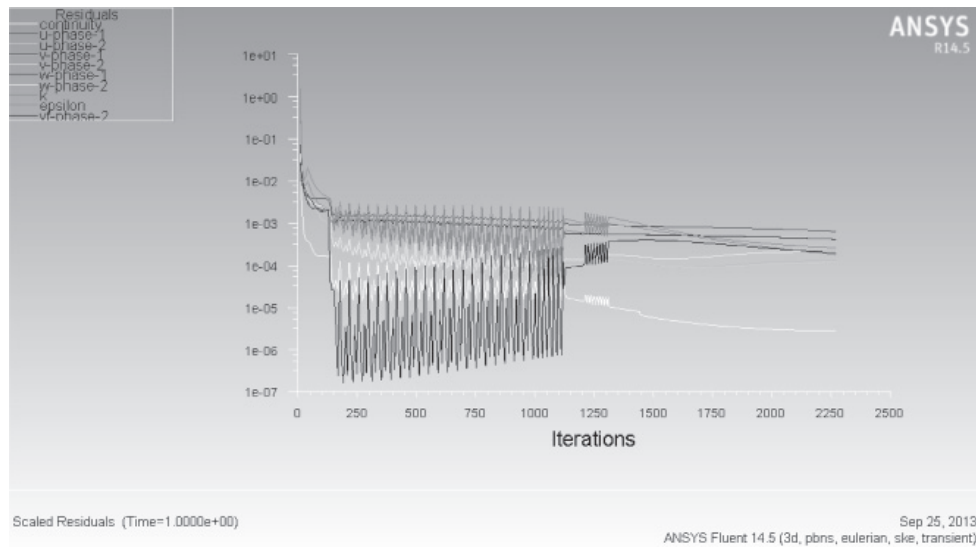


Рис. 2. График сходимости решения задачи

В результате получены картины распределения параметров по сечениям модели, которые позволяют получить необходимые

для верификации данные (рис. 3–4). На рис. 3 а, б, в, г показано изменение объёмной доли породы со временем.

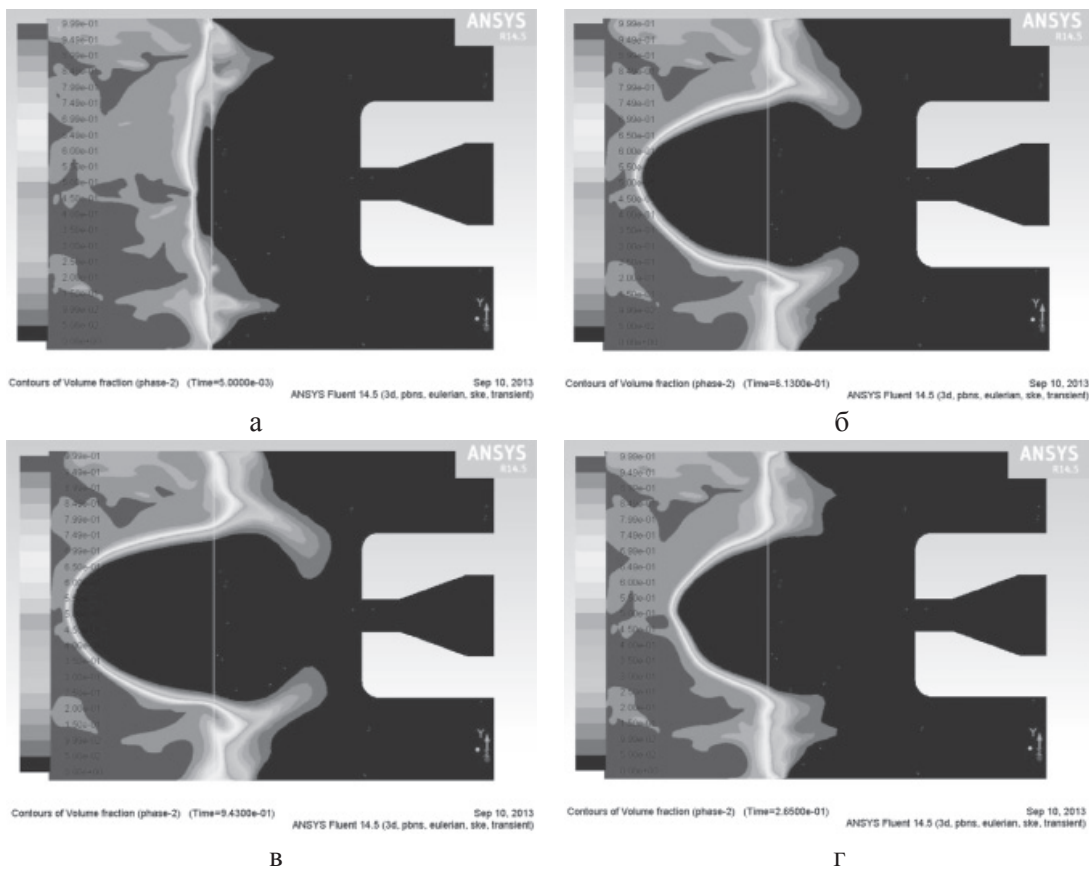


Рис. 3. Распределение объёмной доли твёрдой породы в разные промежутки времени: а – время расчёта 0,005 с; б – время расчёта 0,26 с; в – время расчёта 0,613 с; г – время расчёта 0,943 с

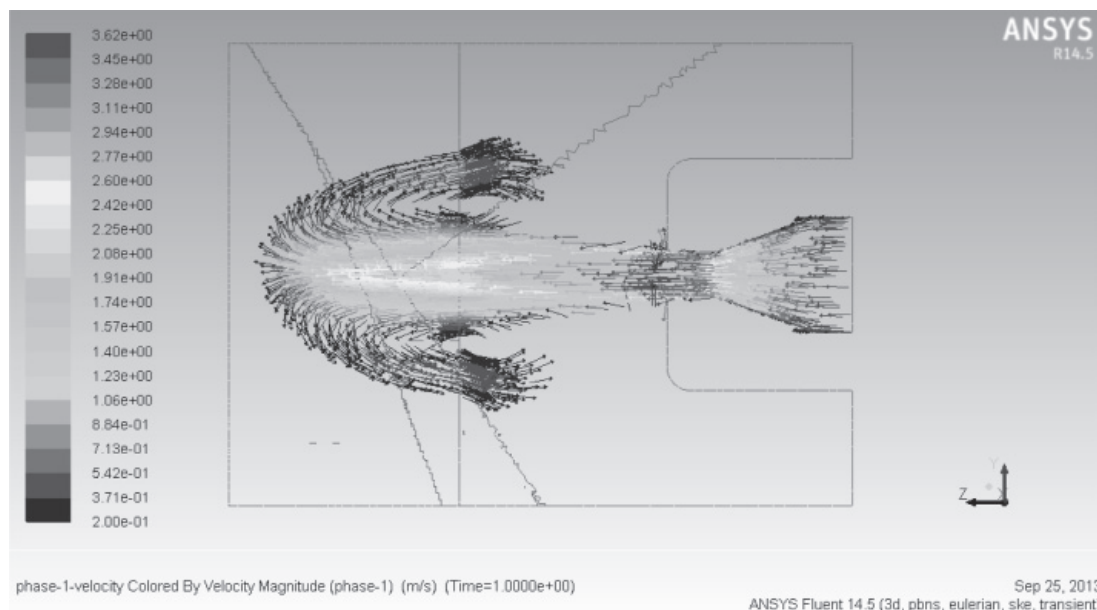


Рис. 4. Вектора скоростей истечения промывочной жидкости

Заклучение

По результатам расчёта видно, что в данной постановке задачи для мягких и очень мягких пород глубина проникновения промывочной жидкости в породу составила порядка четырёх диаметров отверстия насадки, что говорит о приближенности численного моделирования к реальности [1]. Но для продолжения исследования необходимо проведение верификации модели и расчёт для других типов пород. А также учёт напряженно-деформированного состояния забоя и неравномерность свойств породы вследствие этого. Данная методика расчёта также позволяет оценивать вынос шлама, образовавшегося в результате воздействия струи промывочной жидкости на забой, его количество и зоны максимальной концентрации в затрубном пространстве, что косвенно может говорить о возможном сальникообразовании.

Список литературы

1. Шацов Н.И. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Изд-во Гос. научно-техническое изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1961. – 666 с.
2. Крамченко В.В., Савичев О.Г. Гидравлика. Часть 2. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 124 с.
3. Маковой Н. Гидравлика бурения: пер. с РУМ. – М.: Недра, 1986. – 536 с.
4. Armsfield S. and Street R. The Fractional-Step Method for the Navier-Stokes Equations on Staggered Grids: Accuracy of Three Variations // Journal of Computational Physics. – 1999. – № 153. – P. 660–665.
5. Ding and Gidaspow D. A Bubbling Fluidization Model Using Kinetic Theory of Granular Flow. AIChE J. – 1990. – № 36(4). – P. 523–538.
6. Gidaspow D., Bezburuah R., Ding J. Hydrodynamics of Circulating Fluidized Beds, Kinetic Theory Approach. In Fluidization VII, Proceedings of the 7th Engineering Foundation Conference on Fluidization. 75–82. 1992.

7. Lun C.K.K., Savage S.B., Jeffrey D.J., Chepurmiy N. Kinetic Theories for Granular Flow: Inelastic Particles in Couette Flow and Slightly Inelastic Particles in a General Flow Field. J. Fluid Mech. 140. 223–256. 1984.

8. Schaeffer D.G. Instability in the Evolution Equations Describing Incompressible Granular Flow. J. Diff. Eq. 66. 19–50. 1987.

References

1. Shacov N.I. Burenie nefnyanyh i gazovyh skvazhin. Moskva: Izd-vo Gos. nauchno-technicheskoe izd-vo nefljanoy i gorno-toplivnoj literatury, 1961. 666 p.
2. Kramchenko V.V., Savichev O.G. Gidravlika. Chast' 2. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009. 124 p.
3. Makovej N. Gidravlika burenija. Per. s RUM. M.: Nedra, 1986. 536 p.
4. Armsfield S., Street R. The Fractional-Step Method for the Navier-Stokes Equations on Staggered Grids: Accuracy of Three Variations. Journal of Computational Physics. 153. 660–665. 1999.
5. Ding and D. Gidaspow. A Bubbling Fluidization Model Using Kinetic Theory of Granular Flow. AIChE J. 36(4). 523–538. 1990.
6. Gidaspow D., Bezburuah R., Ding J. Hydrodynamics of Circulating Fluidized Beds, Kinetic Theory Approach. In Fluidization VII, Proceedings of the 7th Engineering Foundation Conference on Fluidization. 75–82. 1992.
7. Lun C.K.K., Savage S.B., Jeffrey D.J., and Chepurmiy N. Kinetic Theories for Granular Flow: Inelastic Particles in Couette Flow and Slightly Inelastic Particles in a General Flow Field. J. Fluid Mech. 140. 223–256. 1984.
8. Schaeffer D.G. Instability in the Evolution Equations Describing Incompressible Granular Flow. J. Diff. Eq. 66. 19–50. 1987.

Рецензенты:

Штеренберг А.М., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой «Общая физика и физика нефтегазового производства» Самарского государственного технического университета, г. Самара;

Волокитин А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Общая физика и физика нефтегазового производства» Самарского государственного технического университета, г. Самара.

Работа поступила в редакцию 11.04.2014.