

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ИЗ ГИДРОМОНИТОРНОЙ НАСАДКИ ДОЛОТА

В.Э. Карпенко, Д.К. Шульга

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

При проектировании современного породоразрушающего инструмента серьезной проблемой является корректный подбор геометрических размеров гидромониторных отверстий, их количества и оптимальный выбор насадок для обеспечения необходимого удаления разбуренной породы. Оптимальный выбор количества насадок, расположения гидромониторных отверстий не может основываться только на инженерных подходах. С целью обеспечения эффективного выноса шлама на поверхность и очистки долота, следует проанализировать картину течения бурового раствора в призабойной зоне и кольцевом канале скважины с последующим принятием конструктивных решений.

Цель исследования – моделирование процесса истечения промывочной жидкости из гидромониторной насадки долота. Для ее реализации были определены следующие задачи: провести анализ гидромониторного эффекта в бурении, осуществить математическое моделирование процесса с последующим решением, предоставить результаты работы с критическими замечаниями, сформулировать рекомендации и предложения по использованию результатов в промышленности при производстве нового породоразрушающего инструмента.

При моделировании процесса истечения бурового раствора из гидромониторной насадки долота в качестве бурового раствора будет использоваться модель однофазной несжимаемой сплошной среды, движение которой на забое и кольцевом пространстве скважины удовлетворяет законам сохранения массы и количества движения. Плотность - ρ , будет считаться величиной постоянной так как рассматриваемая среда несжимаема:

$$\rho = const \quad (1)$$

Температура потока - T , считается постоянной.

$$T = const \quad (2)$$

Вследствие того, что промывочная жидкость рассматривается в качестве ньютоновской жидкости, ее вязкость - μ , является постоянной величиной. Полагается, что коэффициент динамической вязкости:

$$\mu = const \quad (3)$$

Вследствие больших скоростей течения промывочной жидкости из гидромониторных насадок породоразрушающего инструмента и мощного воздействия развиваемой струи на лопасти и резы долота, а также сложной пространственной формы рассматриваемой области, течение бурового раствора будет рассматриваться как турбулентное. Для учета турбулентного течения исследуемого потока промывочной жидкости будет использоваться стандартная модель Рейнольдса второго порядка для компонент полного тензора одноточечных корреляций пульсаций поля скорости. В данных условиях уравнения движения (осредненные по времени уравнения Навье-Стокса) записываются в виде [4]:

$$\frac{\partial \bar{V}_i}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{V}_i}{\partial x_i \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \bar{V}_i \bar{V}_j'), \quad (4)$$

где \bar{V}_i, V_i' – осредненные по времени значения компонент вектора скорости и его пульсационной составляющей, F_i – компонента вектора массовых сил, ρ – плотность промывочной жидкости, p – осредненное по времени давление, $\nu = \mu/\rho$ – коэффициент кинематической вязкости, t - время, x_i, x_j - координаты.

В (4) присутствуют неизвестные величины – турбулентные напряжения - осредненные по времени пульсационные компоненты. Поэтому необходимо использовать для них дополнительные связи, например, типа уравнения транспорта напряжений, следующего вида [4,5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tau_{in}}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \tau_{in}}{\partial x_j} = & - \left(\tau_{ij} \frac{\partial \bar{V}_n}{\partial x_j} + \tau_{nj} \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} \right) - 2\nu \frac{\partial V_i'}{\partial x_j} \frac{\partial V_n'}{\partial x_j} + \frac{\rho'}{\rho} \left(\frac{\partial V_n'}{\partial x_i} + \frac{\partial V_i'}{\partial x_n} \right) - \\ & - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\overline{V_i V_n V_j} + \frac{\delta_{ij}}{\rho} \overline{V_n p'} + \frac{\delta_{ij}}{\rho} \overline{V_i p'} - \nu \frac{\partial \tau_{in}}{\partial x_j} \right), \quad (5) \\ \tau_{in} = & \overline{V_i V_n'} \end{aligned}$$

где τ_{in} - напряжения Рейнольдса. Для замыкания уравнения (5) нужно осуществить выбор подходящей модели турбулентности. В данных условиях использование двухпараметрических моделей может привести к неверным численным расчетам. Поэтому замыкание RSS-модели проводится с привлечением опорных баз с уравнениями к- теории турбулентности [4] – уравнениями для параметров, типа kL, kw [1,4,5].

Для промывочной жидкости задаются условия: плотность 1.15 г/см³; объемный расход $Q = 32$ л/с; глубина забоя 500 м; количество гидромониторных насадок $n=5$. Максимум скорости 55.22 м/с на рисунке 1 наблюдается в зоне истечения промывочной жидкости из гидромониторных насадок. Снижению эффективности прямого действия гидромониторных струй на забой способствует вращение породоразрушающего инструмента, которое закручивает их вокруг центральной оси долота, что в конечном итоге вызывает большую турбулизацию течения в области лопастей долота. Установлено, что потоки отдельных струй после выхода из гидромониторных насадок почти сразу выносятся в кольцевое пространство. Это, в свою очередь, приводит к снижению эффективности очистки. Наличие поперечных вихрей в периферийной зоне препятствует образованию налипания породы на зубки долота, однако небольшие вихри в непосредственной близости к оси

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

вращения имеют незначительные скорости вращения вместе с потоком, поэтому точка схождения двух основных лопастей может служить источником возникновения шламовой подушки [2].

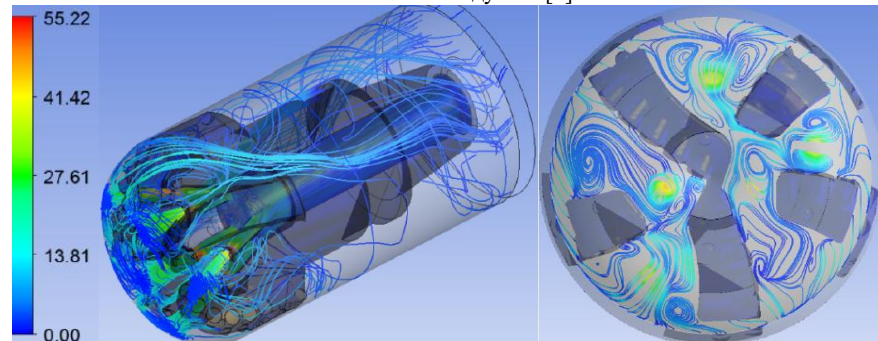


Рис 1 Линии тока течения жидкости в продольной и поперечной плоскости, Расчет по *RSS-kL*-модели (см. детали формулировки модели и условий расчета, например, в[4,5]).

В связи с особенностями конструкции долот гидромониторные отверстия находятся на различных расстояниях от дна забоя, при этом выходящие из них гидромониторные струи направлены под различными углами к центру вращения инструмента [3]. Из-за этого гидравлическое воздействие потока промывочной жидкости на призабойную зону различно с точки зрения создаваемой силы, а также по интенсивности образования поперечных потоков бурового раствора в жидкости. Максимум давления на рисунке 2 наблюдается в зоне основного канала долота, у входных кромок гидромониторных каналов и равняется 7,323 МПа [2].

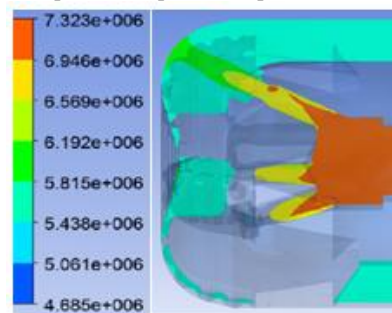


Рис 2 Поле давления в срединной плоскости отверстий

Заключение. По результатам моделирования течения потока из гидромониторных насадок долота было получено распределение поля скорости и поля давления потока. Анализ построенных поперечных потоков промывочной жидкости в зоне забоя позволил выявить наличие поперечных вихрей (L), которые способствуют дополнительной очистке вооружения инструмента от выбуренной породы. При этом в точке схождения двух лопастей долота образуются условия, необходимые для формирования зоны застоя и появления участка со шламовой подушкой. В процессе проведения исследований необходимо рассматривать два фактора, имеющих наибольшую практическую значимость. Имеет смысл исследовать гидромониторный эффект с точки зрения эффективности очистки забоя скважины от выбуренной породы, очистки вооружения породоразрушающего инструмента, а также проводить исследования течения во внутренних каналах долота с точки зрения их устойчивости к размыву. На основании полученных результатов работы можно дать следующие рекомендации для применения на практике. Для уменьшения интенсивности размыва острых кромок раздающих каналов рекомендуется выполнять входы в раздающие каналы с закруглением. Для улучшения очистки в точке схождения основных лопастей долота нужно подбирать углы наклона струй, исходя из условия минимизации образования вихрей в зоне, близко прилегающей к оси вращения инструмента. Турбулентный поток бурового раствора из-за своей высокой скорости вызывает размыв гидромониторных насадок. Для того, чтобы снизить интенсивность этого явления, можно закруглять кромки насадок, изготавливать их из композитных материалов.

Литература

1. Menter F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications // The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal. – 1994. – № 8. – P. 1598-1605.
2. Бруяка В.А. Моделирование истечения промывочной жидкости из гидромониторных отверстий PDC долот // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – № 4. – с. 649-658.
3. Кравчук М.В. Оценка эффективности высоконапорных струй из насадок гидромониторных долот / М.В. Кравчук // Научные исследования и инновации. – 2011. – № 3. – с. 13-16
4. Бубенчиков А.М., Харламов С.Н. Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях. - Томск: Изд-во ТГУ, 2001. -440 с.
5. Kharlamov S.N., Alginov R.A. Modelling of Complex Shear Flow Structure in Pipelines // International Journal of Engineering, Science and Innovative Technology, 2014. – Vol. 3, - Iss. 6. –С. 500-509.