

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Джанхорбани Мехран

Научный руководитель - профессор Харламов С.Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение: Оптимизация процесса очистки горизонтальных скважин от шламов является одной из наиболее актуальных задач современного бурения. Рост числа таких скважин ставит проблему их эффективной очистки с целью увеличения скорости бурения и прогнозирования возможных осложнений, возникающих в результате засорения скважины. В таких условиях основная трудность состоит в том, что процесс транспорта шламов в забойных условиях во многом неизвестен. Сведения о процессе, проходящем в забое можно получать опосредованно, например, от изменений давления на насосах или от силы трения, возникающей при спуско - подъемных операциях. Заметим, что полномасштабное изучение проблемы в лабораторных условиях весьма сложно в силу невозможности точного воспроизводства и повторения условий подземного процесса. Это достаточно дорого даже для современного оборудования - самой крупной установки, предназначенной для такого рода исследований и находящейся в университете Тульсе, шт. Оклахома, США. Ее оборудование не способно воспроизводить механизмы, широко применяемые при бурении, такие как орбитальное вращение буровой колонны. Но, к счастью, наряду с лабораторным подходом существует способ изучения данной проблемы с помощью методов математического моделирования (вычислительной гидродинамики). Но и этот подход пока что способен только давать качественные результаты. Так как при моделировании использует физические модели с рядом упрощений: относительно формы и размеров частиц; моделей турбулентности; моделей межфазного взаимодействия импульса и массы. Однако, ряд исследований уже доказали (см., например, [1,3,4], что этот подход вполне приложен для прогноза физических эффектов, сопровождающих транспорт шламов. И, следовательно, подход жизнеспособен в изучении особенностей влияния разных факторов на процесс очистки, например, изменений вязкости, размера частиц, скорости течения смеси, скорости бурения и т.п.

Детали моделирования: В данном исследовании был использован эйлеровский подход (ПО ANSYS FLUENT) для моделирования процесса транспорта шламов в межтрубном пространстве между трубами с диаметрами 20 см и 10 см. Предполагается, что внутренняя труба расположена эксцентрично (эксцентricность $e = 80\%$) (рис. 1). Эта значение полностью соответствует условиям процесса, именно так располагается буровая колонна относительно скважины при бурении горизонтальных участков. Обращение к моделированию процессов гидродинамики и массообмена в рамках однофазной сплошной среды показало, что течение полностью развивается по длине скважины после 4 метров. Это потребовало принять расчетную длину канала размером порядка 10 метров (рис. 2).

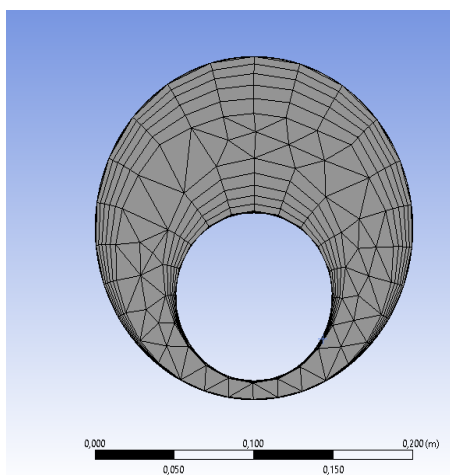


Рис.1. Геометрия кольцевой зоны и ее расчетная сетка

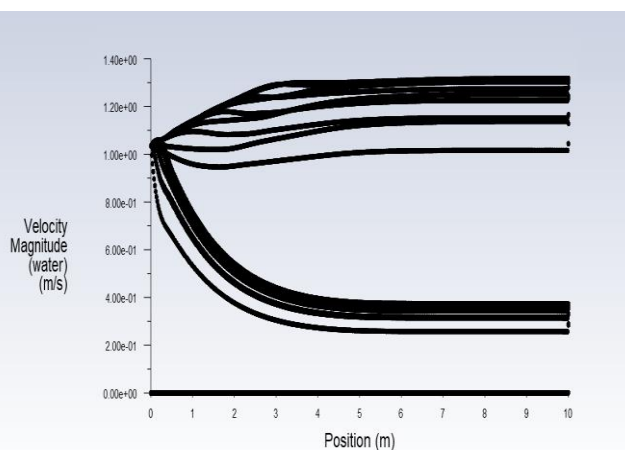


Рис.2. Изменение осевой скорости жидкой фазы по длине скважины в отдельных сечениях по поперечному сечению межтрубного пространства

Моделирование на разных сетках показало, что оптимальной для исследований следует считать сетку с количеством ячеек 435.000. Этого достаточно для обеспечения требуемой точности получения численного решения. Так, увеличение сетки не влияет на изменение локальных переменных (достигнута погрешность меньше 2%). Но, дальнейшее измельчение области расчета значительно увеличивает время расчета гидродинамической картины течения смеси из воды с песком (плотностью 2650 кг/м³ и размером частиц 3 мм). Предполагается, что частицы песка являются сферическими и одномерными. Расчет турбулентного течения проводится в рамках (к- ω) модели турбулентности в низкорейнольдсовой форме. Установлено, что (к- ϵ) модель турбулентности не способна корректно предсказать изменения поля скорости в узком межтрубном пространстве (в нижней части кольцевой зоны) и ведёт к

нестабильности численного алгоритма. Замыкание определяющей системы уравнений также включает формулировки физических свойств песка, слагаемых, описывающих эффекты межфазного взаимодействия (были использованы модели Гидаспоу [2] – для представления гранулярной вязкости, силы сопротивления) и данные Лун [5] (при формулировке объемной вязкости, давления твердой фазы). В расчетах принято, что упаковка частиц определялась величиной 0,63. Так как частицы являются сферическими и одномерными, то допускается, что влиянием других сил, таких как подъемная и виртуальной массы пренебрегается. Считается, что они незначительными по сравнению с силой сопротивления.

Краевые условия формулируются так, что для входных условий вода входит в систему с дебитом 23,5 кг/сек (скорость течения 1 м/сек), который находится в пределах реальных буровых условий. И песка с дебитом 0,6 кг/сек, который соответствует скорости бурения 100 фут/час (при 20% пористости породы) – это также соответствует реальным буровым условиям. Условия на выходе соответствуют непрерывности течения, на стенках – прилипания для осредненных и пульсационных величин (no slip). При получении численного решения уравнений математической модели был использован Phase Coupled SIMPLE алгоритм. И так как при течении смеси (из-за накопления песка в межтрубном пространстве) геометрия изменяется, то, видно, что внутри геометрии меняется поля скорости. Предполагается, что течение отвечает стационарному режиму и решение строится на идеях метода установления при соответствующем интегрировании определяющих уравнений математической доли, записанных в нестационарной форме. При этом выбирается временной шаг установления величиной порядка 0,001 сек. Течение смеси соответствует реальным условиям функционирования скважины.

Результаты: Время решения задачи о течении смеси в данных условиях составило порядка 200сек. Установлено, что полученные результаты вполне удовлетворительно количественно и качественно соответствуют экспериментальным результатам, полученным Мовахедеи [6], где использовалась смесь воды с нефтью, несферические и разноразмерные частицы. К тому же значения Y^+ на стенах находятся в пределах, допустимых для использования версии модели турбулентности с пристеночными функциями для зоны динамического пограничного слоя ($30 < Y^+ < 300$). Анализируемые результаты отвечают случаю полностью установившегося течения в межтрубном пространстве, о чем свидетельствуют параметры, описывающие устойчивость численного алгоритма интегрирования определяющих уравнений гидродинамики и диффузии фаз смеси. Данные анализа нестационарного режима течения показывают, что через 100 сек концентрация шлама в кольцевом пространстве растет до 2,94% при перепаде давления 860 Па. Однако, после этого она медленно уменьшается. И после 200 сек было обнаружено, что концентрация шлама уменьшалась до 2,62% при перепаде давления 850 Па. Это явление можно объяснить тем, что уменьшение свободного для течения пространства ведет к росту скорости течения и оно стирает верхние слои шлама. Отметим, что наибольшие проблемы прогноза течения смеси связаны с моделированием турбулентности. Поэтому в задаче возникают вопросы для дополнительного детального изучения, что может составить предмет для перспективных исследований. Другим источником ошибок при построении численного решения связан с описанием эффектов межфазных взаимодействий в процессах переноса импульса и массы. В связи с этим уместно использовать лагранжевый подход для прогноза динамики частиц твердой фазы по эксцентричному пространству горизонтального участка скважины.

Литература

1. Bilgesu, H. I., M. W. Ali, K. Aminian, and S. Ameri. "Computational Fluid Dynamics (CFD) as a tool to study cutting transport in wellbores." In *SPE Eastern Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers, 2002.
2. Gidaspow, Dimitri, Rukmini Bezburuah, and J. Ding. Hydrodynamics of circulating fluidized beds: kinetic theory approach. No. CONF-920502-1. Illinois Inst. of Tech., Chicago, IL (United States). Dept. of Chemical Engineering, 1991.
3. Heydari, Omid, Eghbal Sahraei, and Pål Skalle. "Investigating the impact of drillpipe's rotation and eccentricity on cuttings transport phenomenon in various horizontal annuluses using computational fluid dynamics (CFD)." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 156 (2017): 801-813.
4. Ignatenko, Yaroslav, Oleg Bocharov, Andrey Gavrilov, and Roland May. "Steady-state cuttings transport simulation in horizontal borehole annulus." In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2018.
5. Lun, C. K. K., S. Br Savage, D. J. Jeffrey, and N. Chepurnyi. "Kinetic theories for granular flow: inelastic particles in Couette flow and slightly inelastic particles in a general flowfield." *Journal of fluid mechanics* 140 (1984): 223-256.
6. Movahedi, Hamed, and Saeid Jamshidi. "Experimental and CFD Simulation of Slurry Flow in the Annular Flow Path Using Two-Fluid Model." *Journal of Petroleum Science and Engineering* (2020): 108224.