



УДК 622

ОБОСНОВАНИЕ ПОИСКА ПРОФИЛЯ СКОРОСТЕЙ ЖИДКОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕРШЕЛЯ-БАЛКЛИ ПРИ ДВИЖЕНИИ В КОЛЬЦЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

SUBSTANTIATION OF THE SEARCH FOR THE FLUID VELOCITY PROFILE OF THE HERSHEY-BULKLEY RHEOLOGICAL MODEL WHEN MOVING IN THE ANNULAR SPACE

Никитин Василий Игоревич

кандидат технических наук, доцент
кафедры бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный технический университет
nikitinv@list.ru

Кабаева Дарья Александровна

студент
кафедры бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный технический университет
daryakabaeva55@gmail.com

Аннотация. В данной статье произведён анализ реологических моделей, используемых для моделирования движения буровых промывочных жидкостей. В связи с разнообразием рецептов, поиск подходящей реологической модели для конкретного вида жидкости является актуальной задачей. При разработке и реализации математической модели движения, могут быть построены графики профилей скоростей, на основании которых можно сделать выводы по качеству выносу шлама. Наиболее подходящей моделью для описания реологических характеристик современных промывочных жидкостей является модель Гершеля-Балкли, решение уравнений движения для которой является актуальной задачей.

Ключевые слова: буровые промывочные жидкости, буровой раствор, реологические модели, качество выноса шлама, математическое моделирование, профили скоростей.

Nikitin Vasilii Igorevich

Ph. D., Associate Professor,
Department Drilling Oil and Gas Wells,
Samara State Technical University
nikitinv@list.ru

Kabaeva Daria Alexandrovna

Student,
Department Drilling of Oil and Gas Wells,
Samara State Technical University
daryakabaeva55@gmail.com

Annotation. This article analyzes the rheological models used to simulate the movement of drilling fluids. Due to the variety of formulations, the search for a suitable rheological model for a specific type of fluid is an urgent task. When developing and implementing a mathematical model of motion, graphs of velocity profiles can be built, on the basis of which conclusions can be drawn on the quality of sludge removal. The most suitable model for describing the rheological characteristics of modern drilling fluids is the Herschel-Bulkley model, the solution of the equations of motion for which is an urgent task.

Keywords: drilling fluids, mud, rheological models, cuttings removal quality, mathematical modeling, velocity profiles.

Буровые растворы являются неотъемлемой частью процесса бурения, так как выполняют множество функций, обеспечивающих безопасное ведение буровых работ. Технологические жидкости, применяемые во время бурения, могут иметь значительно отличающиеся друг от друга реологические параметры. В связи с этим актуальным остаётся вопрос о выборе правильной реологической модели и уравнения состояния для дальнейшего математического моделирования. Моделирование движения буровых промывочных жидкостей позволяет произвести расчёт динамических давлений и оценить качество выноса шлама по виду профиля скорости [4].

При построении профилей скоростей движения различных технологических жидкостей могут быть использованы следующие реологические модели: Ньютоновская модель, модель Шведова-Бингама (вязкопластичная), модель Освальда-де Ваале (степенная), модель Гершеля-Балкли.

Ньютоновская модель является наиболее простой, так как она включает в себя всего один реологический показатель – динамическую вязкость. И данный вид жидкости применим только к средам подобным воде, то есть используется в качестве основы буровых растворов.

К буровым промывочным жидкостям также применяется модель Шведова-Бингама (вязкопластичная жидкость), математическая модель которой имеет вид:

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}, \quad (1)$$

где τ – сдвиговое напряжение, τ_0 – начальное напряжение сдвига, η – пластическая вязкость, $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига.

Из уравнения (1) видно, что в отличие от ньютоновской среды, в нём учитывается начальное напряжение сдвига. А как известно, статическое и динамическое напряжение сдвига у буровых рас-



творов являются одним из важных параметров, которые необходимо поддерживать в процессе всего бурения скважины. Модель Шведова-Бингама достаточно хорошо описывает реальные буровые растворы, но данная модель не учитывает изменение вязкости среды при движении.

Более сложной моделью является степенная модель Освальда-де Ваале, представленная следующим уравнением:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n, \tag{2}$$

где K – коэффициент консистенции, n – показатель нелинейности.

Данная модель также в части источников применяется к моделированию буровых промывочных жидкостей, так как имеет преимущества в учёте нелинейных составляющих, это видно из уравнения (2) по наличию показателя нелинейности n . Однако данная модель не учитывает начальное напряжение сдвига, что недостаточно хорошо передаёт реологические свойства буровых растворов.

В анализируемых источниках представлены виды реологических моделей для Ньютоновской жидкости, Шведова-Бингама, Освальда-де Ваале, но не представлены решения для реологической модели Гершеля-Балкли, поэтому, нахождение решения уравнений движения для данной модели является актуальной задачей.

Математическая модель Гершеля-Балкли представлена следующим выражением:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \tag{3}$$

Данная модель точнее отражает истинные реологические свойства большинства буровых растворов, так как, в отличие от модели Шведова-Бингама (1), она учитывает нелинейность, то есть изменение вязкости при разных скоростях сдвига, а в отличие от модели Освальда-де Ваале (2), она учитывает начальное напряжение сдвига τ_0 . Исходя из этого наиболее подходящей моделью для полного описания реологии жидкости является модель Гершеля-Балкли [5].

Так как уравнения движения жидкости типа Гершеля-Балкли в кольцевом канале представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений [1, 6], то решение может быть найдено с использованием численных методов. Поэтому для решения данной задачи могут быть предложены пакеты символьных вычислений, например, таких как: Maxima, Wolfram Mathematica, Mathcad.

Моделирование движения буровой промывочной жидкости типа Гершеля-Балкли является перспективным, так как может иметь практическое применение в задаче бурения, а именно в повышении качества выноса шлама из скважины. Вынос шлама является одной из важнейших функций, которую выполняют буровые промывочные жидкости.

Согласно выдвинутой гипотезе Джона Митчелла [2], по виду профиля скоростей можно оценивать качество выноса шлама. При этом плоский профиль скоростей может быть рекомендован к буровой промывочной жидкости, с целью лучшего выноса шлама из скважины, а вытянутый профиль является наименее подходящим для выноса шлама. На рисунке 1 представлены типовые виды профиля скоростей, где кривая 1 соответствует более плоскому профилю, что способствует наилучшему выносу шлама, а кривая 2 более вытянутому профилю, который хуже влияет на эффективность очистки шлама.

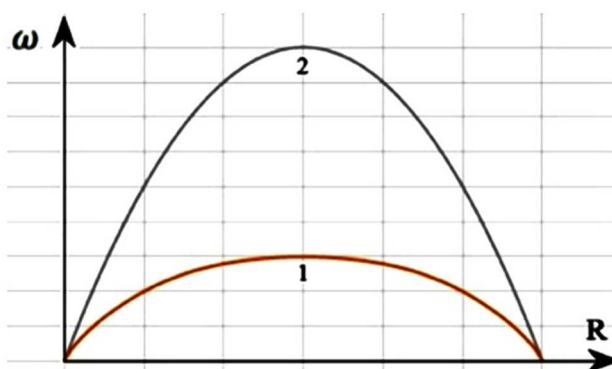


Рисунок 1 – Типовые виды профиля скоростей

Имея решение уравнений движения для жидкости типа Гершеля-Балкли может быть построен профиль скоростей, на основании которого возможно произвести оценку качества выноса шлама. Анализ решений для разных типов жидкостей позволит определить оптимальные диапазоны коэффициентов τ_0 , K , n для наличия наиболее плоского профиля скоростей. Нахождение экспериментальных зависимостей параметров τ_0 , K , n от реагентов, используемых при приготовлении промывочных жидкостей позволит осуществить разработку новых рецептов [3]. Такой метод может быть предложен при проектировании промывочных жидкостей с целью повышения качества выноса шлама.

**Литература:**

1. Леонов Е.Г., Исаев В.И. Гидроаэромеханика в бурении: Учебник для вузов. – М. : Недра, 1987. – 304 с.
2. Митчелл Дж. Безаварийное бурение: курс лекций к тренингу. – Хьюстон : Дриллберт Инжиниринг Инк., 2001. – 279 с.
3. Никитин В.И., Живаева В.В. Применение методов математического моделирования для управления свойствами буровых растворов // Ашировские чтения : Сб. трудов Международной научно-практической конференции. – Самара : Самар.гос.техн.ун-т, 2015. – С. 81–85.
4. Цивинский Д.Н. Расчет динамики течения жидкости и гидравлического сопротивления при проведении спускоподъемных операций в скважине: учеб. пособие // Самар. гос.техн.ун-т. Бурение нефтяных и газовых скважин. – Самара, 2015. – 216 с.
5. Шарафутдинов З.З., Шарафутдинова Р.З. Буровые растворы на водной основе и управление их реологическими параметрами // Электронный научный журнал «Нефтегазовое Дело». – 2004. – № 1. – 21 с.
6. Leonov E.G., Isaev V.I. Applied hydroaeromechanics in oil and gas drilling // Moscow Gubkin State University of Oil and Gas, 2010. – 443 p.

References:

1. Leonov E.G., Isaev V.I. Hydroaeromechanics in drilling: Textbook for universities. – M. : Nedra, 1987. – 304 p.
2. Mitchell J. Fail-safe drilling: a course of lectures for training. – Houston : Drillbert Engineering Inc, 2001. – 279 p.
3. Nikitin V.I., Zhivaeva V.V. Application of Methods of Mathematical Modeling to Manage Drilling Mud Properties // Ashirov Readings : Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. – Samara : Samara State Technical University, 2015. – P. 81–85.
4. Tsvinskiy D.N. Calculation of fluid flow dynamics and hydraulic resistance during round-trip operations in a well: tutorial // Samara State Technical University. Drilling of oil and gas wells. – Samara, 2015. – 216 p.
5. Sharafutdinov Z.Z., Sharafutdinova R.Z. Water-based drilling fluids and management of their rheological parameters // Electronic scientific journal «Oil and Gas Delo». – 2004. – № 1. – 21 p.
6. Leonov E.G., Isaev V.I. Applied hydroaeromechanics in oil and gas drilling // Moscow Gubkin State University of Oil and Gas, 2010. – 443 p.