УДК 622.24.063

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВЯЗКОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ В СКВАЖИННЫХ УСЛОВИЯХ

♦♦♦♦♦

ON THE QUESTION OF PREDICTING THE VISCOSITY OF DRILLING FLUID IN BOREHOLE CONDITIONS

Тихонов Евгений Владимирович
технический директор отдела буровых растворов
ООО «БУРСЕРВИС»
evgeny.tikhonovv@yandex.ru

Аннотация. В статье предложен расчётный метод прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях, который имеет исключительное значение для проектирования и применения оптимальных составов и свойств буровых растворов при бурении высокотемпературных, сильно искривлённых и горизонтальных скважин, а также растворов для качественного вскрытия продуктивных пластов.

Ключевые слова: реологические показатели буровых растворов; фильтрационные показатели буровых растворов; проектирование технологии приготовления буровых растворов; управление свойствами буровых растворов; влияние температуры на пластическую вязкость; метод прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях.

Tikhonov Evgeny Vladimirovich
Technical Director
of the Drilling Fluids Department
of «BURSERVICE» LLC
evgeny.tikhonovv@yandex.ru

Annotation. The article proposes a calculation method for predicting the viscosity of a solution under downhole conditions, which is of exceptional importance for the design and application of optimal compositions and properties of drilling fluids when drilling high-temperature, highly deviated and horizontal wells, as well as solutions for high-quality opening of productive formations.

Keywords: rheological properties of drilling fluids; filtration properties of drilling fluids; design of drilling fluid preparation technology; managing drilling fluid properties; effect of temperature on plastic viscosity; method for predicting fluid viscosity under downhole conditions.

Реологические и фильтрационные показатели буровых растворов в скважинных условиях значительно отличаются от показателей, измеренных при температуре окружающей среды. Поэтому при проектировании технологии приготовления буровых растворов с заданными показателями свойств и управления ими в процессе бурения скважин должны учитываться изменения реологических и фильтрационных показателей буровых растворов, происходящие в скважине под воздействием температуры и давления.

Изучению влияния температуры и давления на реологические и фильтрационные показатели посвящено достаточно много теоретических и экспериментальных исследований, однако до настоящего времени этот процесс полностью не изучен, в результате чего отсутствуют закономерности, позволяющие прогнозировать изменение этих показателей в условиях скважины.

Подбор составов буровых растворов с учётом забойных температур и давлений осуществляется, в основном, лабораторным путём с использованием дорогостоящих и сложных приборов и установок, на что затрачиваются значительные средства. Отсутствие в промысловых лабораториях приборов для определения реологических и фильтрационных показателей в скважинных условиях приводит к тому, что разработка составов буровых растворов и управление их свойствами осуществляется без учёта температурных изменений в скважине, что зачастую приводит к авариям и осложнениям ствола скважины, снижению качества вскрытия продуктивных пластов.

Совершенствование технологии промывки должно идти по пути создания математических зависимостей (моделей), позволяющих прогнозировать изменение реологических и фильтрационных показателей в условиях скважины.

Ниже приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке количественной зависимости для прогнозирования пластической вязкости буровых растворов на водной основе при температуре в условиях скважины по результатам определения этого параметра при температуре окружающей среды.

Количественную зависимость для прогнозирования пластической вязкости при температуре в условиях скважины можно получить из анализа известной математической модели пластической вязкости буровых растворов на водной основе (1). Из математической модели пластической вязкости следует, что если известна пластическая

вязкость $\eta_{ос}$ при температуре окружающей среды $T_{ос}$, то пластическую вязкость в скважинных условиях при температуре $T_{скв}$ можно определить по формуле:

$$\eta_{скв} = \frac{\eta_{ос}}{\exp B \cdot \left(\frac{1}{T_{ос}} - \frac{1}{T_{скв}} \right)}, \quad (1)$$

где $\eta_{скв}$ – пластическая вязкость бурового раствора в скважинных условиях при температуре $T_{скв}$, мПа · с; $\eta_{ос}$ – пластическая вязкость бурового раствора при температуре окружающей среды $T_{ос}$, мПа · с; $T_{ос}$ и $T_{скв}$ – абсолютная температура окружающей среды и в условиях скважины, °К; В – величина, являющаяся константой для исследуемого раствора, определяется по формуле:

$$B = K \cdot \rho_{бр} \cdot \left(C_к + \sum C_p \cdot K_p \cdot M \right), \quad (2)$$

где K – обобщённая константа, включающая константы энергии активации вязкого течения бурового раствора и газовой постоянной; $\rho_{бр}$ – плотность бурового раствора, г/см^3; $C_к$ – объёмное содержание коллоидной глинистой составляющей, %; $\sum C_p \cdot K_p$ – содержание органического коллоида; M – молекулярная масса реагента-стабилизатора, применяемого для обработки бурового раствора.

Из формул (1) и (2) следует, что с повышением температуры пластическая вязкость бурового раствора всегда снижается, но интенсивность её снижения для каждого раствора различна и определяется величиной показателя В.

Имея информацию о температуре в скважине $T_{скв}$, а также составе бурового раствора ($\rho_{бр}$, $C_к$, $\sum C_p \cdot K_p$, M), можно прогнозировать вязкость раствора в скважинных условиях по вязкости, измеренной при температуре окружающей среды.

На рисунке 1 приведены данные изменения пластической вязкости бурового раствора от температуры, рассчитанные по формуле (1) (график 1), в сопоставлении с известными экспериментальными данными, полученными зарубежными исследователями (график 2).

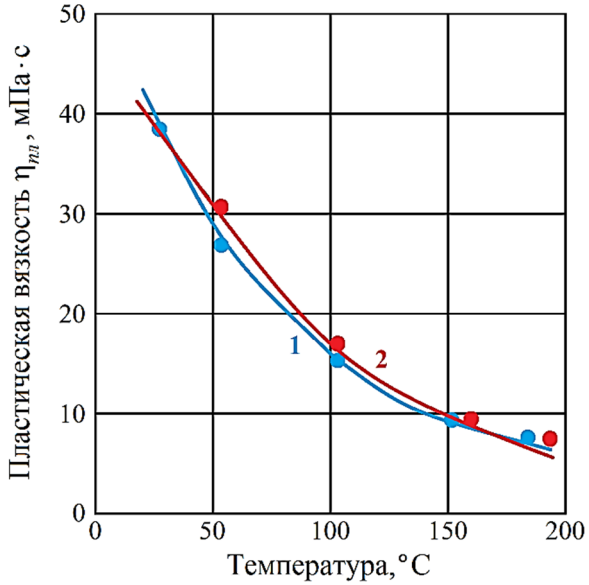

Рисунок 1 – Влияние температуры на пластическую вязкость суспензии натриевого монтмориллонита:
1 – график, рассчитанный по формуле (1);
2 – экспериментальный график

Из приведённых данных видно, что результаты расчёта по разработанной формуле адекватны экспериментальным данным, что подтверждает правомерность пред-

ложенного расчётного метода для прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях по вязкости, измеренной при температуре окружающей среды.

Предложенный расчётный метод прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях имеет исключительное значение для проектирования и применения оптимальных составов и свойств буровых растворов при бурении высокотемпературных, сильно искривлённых и горизонтальных скважин, а также растворов для качественного вскрытия продуктивных пластов.

Литература

1. Прогнозирование удельной вязкости буровых растворов на основе стиромаля с помощью математической модели / Д.Х. Акчурина [и др.] // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – № 4. – С. 368–380. DOI: 10.17122/ogbus-2014-4-368-380
2. Батыров М.И. Построение регрессионной модели для определения факторов, влияющих на свойства и технологические параметры бурового раствора / М.И. Батыров, С.И. Руденко, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 297–315.
3. Поварова Л.В. Перспективы использования буровых растворов на основе биополимерных систем / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 3. – С. 289–292.
4. Поварова Л.В. Обоснование выбора бурового раствора для вскрытия продуктивных пластов / Л.В. Поварова, М.И. Батыров // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 215–236.
5. Савенок О.В. О возможности использования реагентов-понизителей вязкости буровых растворов и пластификаторов тампонажных растворов для приготовления вязкоупругих составов // Проблемы геологии и освоения недр: труды Четвёртого Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых учёных им. М.А. Усова, посвящённого 100-летию со дня открытия ТПУ и 300-летию горно-геологической службы России (03–07 апреля 2000 года, г. Томск). – Томск : Томский политехнический университет, 2000. – С. 416.
6. Тихонов Е.В. Анализ проблем бурения скважин и вскрытия нефтегазовых пластов в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 206–222.
7. Тихонов Е.В. Основные направления снижения стоимости буровых работ и капитального ремонта скважин / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова; Под ред. Р.В. Агиней // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2025: материалы XXVI Международной молодёжной научной конференции (27–28 марта 2025 года, г. Ухта) : в 2 ч. – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2025. – Ч. 2. – С. 151–156.
8. Тихонов Е.В. Критерии оценки качества и требования к свойствам буровых растворов, обеспечивающих надёжную подготовку ствола скважины к креплению // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 2. – С. 125–130.
9. Тихонов Е.В. Очистка буровых растворов и управление их свойствами при заканчивании скважин // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 2. – С. 131–136.
10. Тихонов Е.В. Анализ изменения плотности нагнетаемой в скважину аэрированной жидкости / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 50–52.

References

1. Prediction of specific viscosity of drilling fluids based stiromal using a mathematical model / D.Kh. Akchurina [et al.] // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». – 2014. – № 4. – P. 368–380. DOI: 10.17122/ogbus-2014-4-368-380
2. Batyrov M.I. The building a regression model to determine factors affecting the properties and technological parameters of the drilling fluid / M.I. Batyrov, S.I. Rudenko, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1. – P. 297–315.
3. Povarova L.V. Prospects for the use of drilling fluids based on biopolymer systems / L.V. Povarova, V.S. Muntian, A.S. Skiba // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 3. – P. 289–292.
4. Povarova L.V. Justification of the choice of drilling fluid for opening of productive formations / L.V. Povarova, M.I. Batyrov // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2020. – № 3. – P. 215–236.
5. Savenok O.V. About possibility of the use reagent-lower to viscosity bore solution and plasticizers cement solution for preparation viscoelastic composition // Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the Fourth International scientific symposium of students, postgradu-

ates and young scientists named after M.A. Usov, dedicated to the 100th Anniversary of the Opening of Tomsk Polytechnic University and the 300th Anniversary of the Mining and Geological Service of Russia (April 3–7, 2000, Tomsk). – Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2000. – P. 416.
6. Tikhonov E.V. Analysis of the problems of drilling wells and tapping oil and gas formations in difficult conditions // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 4. – P. 206–222.
7. Tikhonov E.V. Main directions of reducing the cost of drilling operations and well workovers / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova; Edited by R.V. Aginey // SEVERGEOECOTECH – 2025: Proceedings of the XXVI International youth scientific conference (March 27–28, 2025, Ukhta) : in 2 parts. – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2025. – Part 2. – P. 151–156.
8. Tikhonov E.V. Quality assessment criteria and requirements to the properties of drilling fluid that ensure reliable preparation of the well bore for fixing // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 2. – P. 125–130.
9. Tikhonov E.V. Cleaning and managing drilling fluid properties during well completion // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 2. – P. 131–136.
10. Tikhonov E.V. Analysis of the change in the density of aerated liquid injected into a well / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova // Petroleum engineer. – 2025. – № 2. – P. 50–52.