

УДК 622.24
ГРНТИ 52.47.15
DOI 10.56525/SPOT2999

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ
ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ БУРОВОГО
РАСТВОРА НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Г.М. ЭФЕНДИЕВ

Институт Нефти и Газа Министерства
Науки и Образования
Азербайджанской Республики,
Баку, Азербайджан
E-mail: galib_2000@yahoo.com

И.А. ПИРИВЕРДИЕВ

Институт Нефти и Газа Министерства
Науки и Образования Азербайджанской Республики,
Баку, Азербайджан

М.К. КАРАЖАНОВА

Каспийский университет технологий
и инжиниринга имени Ш.Есенова,
г. Актау, Казахстан.

E -mail: maral.karazhanova@yu.edu.kz

М.Б. АСКЕРОВ

Азербайджанский Государственный
Университет Нефти и Промышленности,
Баку, Азербайджан

Аннотация. Во избежание различных проблем при бурении, связанных с неустойчивостью стенок ствола скважины, поглощением бурового раствора и т.п., необходимо использовать понятие «окна безопасности» бурового раствора. Расчет границ окна безопасности бурового раствора позволяет обосновать выбор плотности бурового раствора для безопасного бурения скважин. Однако при всех своих преимуществах точно определить границы «окна безопасности» невозможно из-за их размытости, что требует использования соответствующих методов, основанных на нечеткой логике и учитывающих данный вид неоднородности. В данной статье предлагается подход, основанный на применении основных положений теории нечетких множеств к выбору плотности бурового раствора на примере нескольких месторождений Азербайджана, России и Казахстана. Получено уравнение для определения плотности, для некоторых месторождений произведены расчеты по этому выражению, дана оценка границ так называемого «окна безопасности» на основе геомеханических исследований.

Ключевые слова: окно безопасности бурового раствора, неопределенность, принятие решений, оптимальная плотность, градиенты давления, цели и ограничения.

Введение. При бурении скважин крайне важно оценить плотность бурового раствора. Неправильная ее оценка может привести к различным осложнениям в виде нефтегазоводопроявлений и поглощений бурового раствора. В связи с этим необходима максимально четкая и правильная оценка плотности бурового раствора. Исходя из этого, в данной работе, используя основные положения теории нечетких множеств, задача была

сформулирована таким образом, чтобы выбрать плотность, которая должна находиться между градиентами порового давления и давления гидроразрыва, выраженными в эквивалентных единицах измерения. В связи с этим в данной статье представлено применение данного подхода при выборе плотности бурового раствора на примере некоторых месторождений. Исходя из постановки задачи, цель состоит в том, чтобы поддерживать скорость проходки на достаточно высоком уровне, ограничивая при этом плотность бурового раствора градиентами порового давлением и давления гидроразрыва. Наша задача — найти такое выражение для плотности, которое удовлетворяло бы этим условиям.

Материалы и методы исследования

Построение геомеханической модели предполагает использование данных по участкам соседних скважин, имеющих характеристики, аналогичные характеристикам исследуемой скважины. Как известно, для получения геомеханической модели необходимо иметь достаточное количество информации. Здесь, прежде всего, имеется в виду комплексная информация, основанная на результатах геофизических исследований скважин (ГИС) и геолого-технологической информации (ГТИ). Целью данного анализа является оценка необходимой плотности бурового раствора. Для этого на основе интерпретации комплексной информации оценивается положение так называемого «окна безопасности» бурового раствора, для чего необходимо знание градиентов порового (пластового) давления, а также давления гидроразрыва [1].

В рамках изложенного представлены результаты анализа комплексной информации об участках пробуренных скважин и геомеханического моделирования на этой основе. При проведении анализа необходимо учитывать тот факт, что напряженное состояние оказывает большое влияние на устойчивость стенок скважины [2]. По этой причине специалисты отмечают важность моделирования напряженного состояния по всей длине скважины для эффективного прогнозирования момента возникновения сопутствующего осложнения.

Во избежание различных проблем при бурении, связанных с нарушением устойчивости стенок ствола скважины, поглощениями бурового раствора и т. п., как это произошло в результатах бурения одной из скважин, приведенных в качестве примера в [3], авторы отмечают необходимость использования концепции, известной как «окно безопасности бурового раствора». Как утверждают авторы статьи, планируемая плотность бурового раствора должна быть больше градиента порового давления и градиента сдвига, но не больше минимальных горизонтальных напряжений и давления гидроразрыва. Для создания окна безопасности необходимо определить значения таких параметров, как пластовое давление, давление гидроразрыва, вертикальное напряжение, максимальное горизонтальное напряжение, минимальное горизонтальное напряжение и сдвиговый градиент разлома. По результатам определения окна безопасности бурового раствора на скважине определяются фактические данные плотности бурового раствора, используемые при бурении.

Как показано в [4], если значение плотности ниже градиента порового давления, это приведет к выбросам. Если окно безопасности меньше градиента давления гидроразрыва, произойдет разрушение при сдвиге и горная порода упадет в ствол скважины. С другой стороны, увеличение плотности бурового раствора выше минимального значения напряжения приведет к проникновению бурового раствора в пласт, т. е. к поглощению. Дальнейшее увеличение градиента давления гидроразрыва выше необходимого уровня приводит к образованию искусственной трещины в стенке ствола скважины. Таким образом, диапазон результатов оценки плотности бурового раствора [3] представляет собой предел статической и динамической плотности бурового раствора, при котором значение статической плотности бурового раствора не меньше наименьшего рекомендуемого значения плотности бурового раствора, а динамическая плотность бурового раствора не превышает максимально рекомендуемую плотность бурового раствора.

При оценке характеристик пласта, необходимых для расчета плотности бурового раствора, важную роль играет вертикальное горное давление. Горное давление рассчитывается путем суммирования (интегрирования) значений плотности горных пород от поверхности до интересующей нас глубины. Большое значение при анализе устойчивости ствола скважины и обосновании границ «окна безопасности» имеет определение механических, в частности, упругих характеристик пласта, таких как коэффициент Пуассона и модуль Юнга [2]. Как правило, для этого необходимы обширные лабораторные эксперименты, а в нашем случае упругие характеристики определялись на основе комплексных геологических, геофизических и технологических исследований. На рис. 1 показано изменение упругих характеристик пород по разрезу по сравнению с данными гамма-каротажа.

В работе [2] представлен анализ прочностных характеристик горных пород на основе результатов геофизических исследований скважин и исследований керна. При оценке прочностных характеристик горных пород использовались данные, полученные при интерпретации каротажных диаграмм.

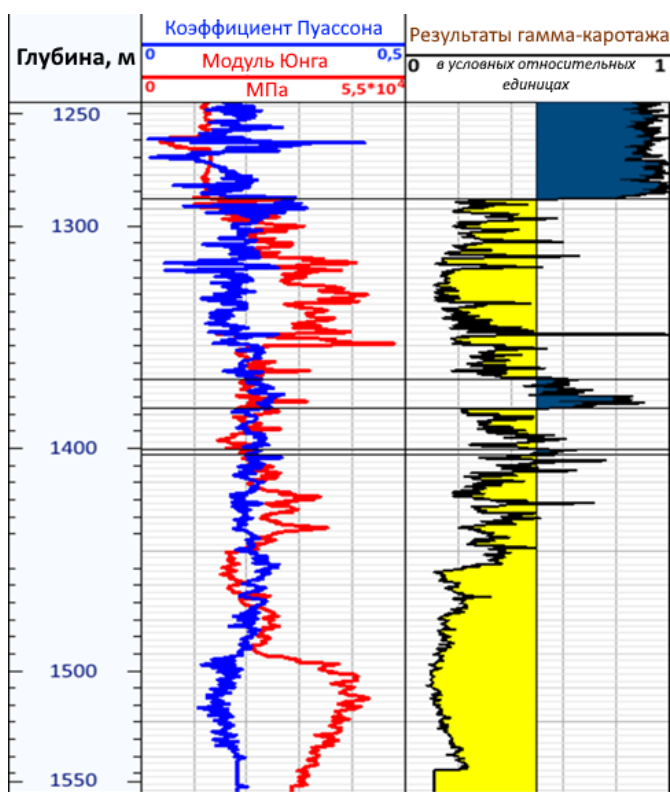


Рис. 1. Изменение упругих характеристик горных пород по стволу скважины на одном из месторождений по сравнению с данными гамма-каротажа

Результаты исследования

Плотность бурового раствора ($\rho_{б.р.}$) выбирается исходя из условий предотвращения потери устойчивости горных пород, слагающих стенки скважины и их гидроразрыва. Очень важно также создание нормального противодавления на пласты, насыщенные пластовыми флюидами, препятствующего притоку их в скважину. Таким образом, изменение $\rho_{б.р.}$ — основное средство регулирования давления в скважине [5].

При вскрытии газонефтенасыщенных пластов значение $\rho_{б.р.}$ должно определяться для горизонта с минимальным градиентом пластового давления в интервале совместимых условий. Давление циркулирующего бурового раствора не должно приводить к раскрытию трещин наиболее слабых пород и возникновению поглощения. Максимально допустимая репрессия (с учетом гидродинамических потерь) должна исключать возможность

гидроразрыва или интенсивного поглощения бурового раствора на любой глубине интервала совместимых условий бурения. В интервалах, сложенных глинами, аргиллитами, глинистыми сланцами и солями, склонными в процессе бурения к потере устойчивости и текучести, плотность, фильтрация и химический состав бурового раствора устанавливаются исходя из необходимости обеспечения устойчивости стенок скважины. Допускается депрессия на стенки скважины в пределах 10–15% эффективных скелетных напряжений (разница между горным и поровым давлением), если это не вызывает угрозу течения, осыпей, обвалов и не приводит к газонефтеводопроявлениям.

Учитывая, что цель (поддержание высокой скорости проходки) и ограничение (плотность бурового раствора должна находиться в интервале между градиентами порового давления и давления гидроразрыва) в своих постановках являются размытыми (нечеткими), целесообразно решать задачу в рамках теории нечетких множеств [6-8]. Как известно, решением в данном случае будет пересечение этих двух множеств, и в работах [7,8,9,10] была показана «безопасная зона», образуемая их пересечением, и, применив соответствующие преобразования, получено уравнение для определения плотности:

$$\rho = \frac{A - \sqrt{A^2 - 4tB}}{2t} \quad (1),$$

где $A = 2t\bar{\eta} + (\eta_p - \eta_{h.f.})^2$, $B = t\bar{\eta}^2 + (\eta_p - \eta_{h.f.})^2$

Для каждого из рассматриваемых месторождений были определены значения t . На основании этого были произведены соответствующие расчеты необходимой плотности бурового раствора. По этим расчетам были построены распределения плотности бурового раствора на месторождении Бахар (рис. 2).

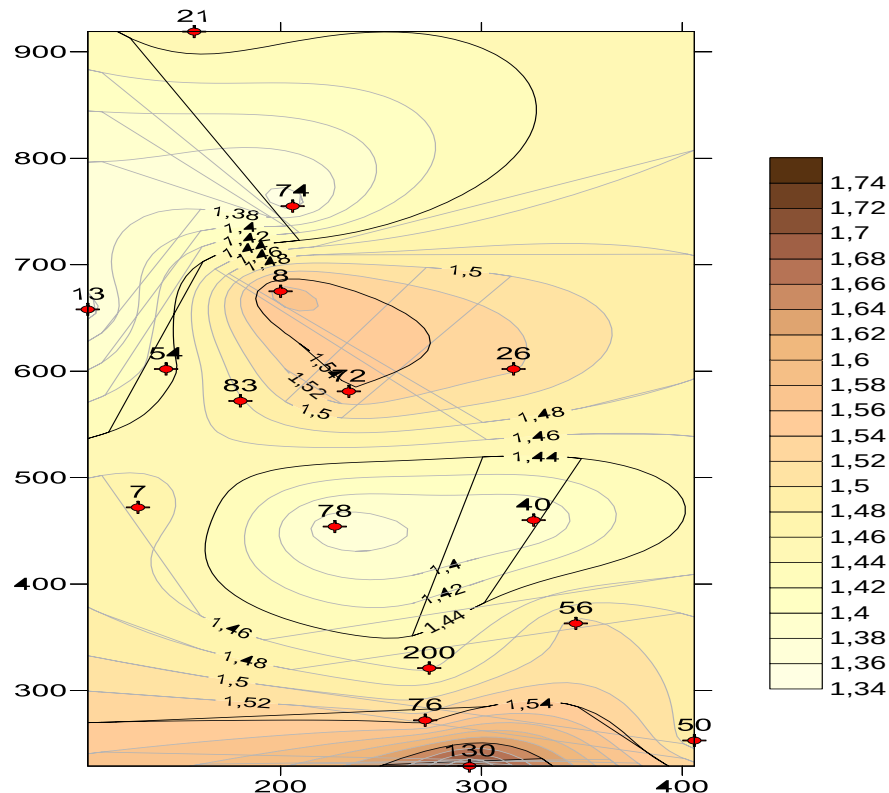


Рис. 2. Распределение плотности бурового раствора на месторождении Бахар (Сураханская и Сабунчинская свиты)

Заключение

По результатам геомеханического моделирования с использованием положений теории нечетких множеств предложена расчетная схема определения оптимальной плотности бурового раствора. По данным бурения нескольких скважин на месторождениях Азербайджана, России и Казахстана построена зависимость скорости проходки от плотности бурового раствора. На основе расчетов по определению необходимой плотности бурового раствора построены распределения плотности бурового раствора на месторождении Бахар. Они показаны на примере Сураханской и Сабунчинской свит. Таким образом, при наличии необходимых данных о пласте, скорости бурения пород, слагающих этот пласт, в процессе бурения можно принять оперативное решение по оценке и уточнению необходимой плотности бурового раствора путем оценки функции принадлежности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jimenez, J.M.C., Lara, L.C.V., Rueda, A., Trujillo, N.F.S.: Geomechanical wellbore stability modeling of exploratory wells - study case at Middle Magdalena Basin. C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro 3(3), 85-102 (2007)
- [2] Albukhari, T., Bishish, G., Abouzbeda, M., Eramah, A.: Geomechanical wellbore stability analysis for the reservoir section in J-NC186 oil field. In: ISRM 1st International Conference on Advances in Rock Mechanics - TunRock 2018. Hammamet, Tunisia, March 2018
- [3] Wibowo, H.B., Julianto, C., Buntoro, A., Subiatmono, P.: Mud Weight Evaluation Based on Safe Mud Window in Drilling Well "X-1" to Overcome Caving and Partial Loss Problems in The Oil Field. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 830 (2021). doi: 10.1088/1755-1315/830/1/012074
- [4] Le, K., Rasouli, V.: Determination of safe mud weight windows for drilling deviated wellbores: a case study in the North Perth Basin. WIT Trans. Eng. Sci. 30(81), 83–95 (2012). doi: 10.2495/PMR120081
- [5] <https://www.drillings.ru/plotnbnr>
- [6] Эфендиев Г. М. Оценка необходимой плотности бурового раствора по данным, поступающим при бурении скважин. Азербайджанское нефтяное хозяйство, 9, с. 31-33. (1990)
- [7] Efendiyev, G.M., Mammadov, P.Z., Piriverdiyev, I.A., Sarbopeyeva, M.D.: Selection of the best combination of bit types and technological parameters during drilling, taking into account uncertainty. Procedia Computer Science 120, 67–74 (2017). doi: 10.1016/j.procs.2017.11.211
- [8] Эфендиев Г.М., Гулиев Г.Г., Джанзаков И.И., Пиривердиев И.А. Принятие решений при бурении скважин в осложненных условиях с учетом неопределенности. Сборник научных трудов: Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Киев, ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, Т. 21, 2018, с. 11-17.
- [9] Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., Piriverdiyev I. A., Mammadov, V. N.: Estimation of the lost circulation rate using fuzzy clustering of geological objects by petrophysical properties. Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology **81(2)**, 28-33 (2018)
- [10] Efendiyev, G. , Isayev R.. PiriverdiyevI. Decision-Making while Drilling Wells based on the Results of Modeling the Characteristics of Rocks using Probabilistic-Statistical Methods and Fuzzy Logic. ISAIC 2020. Journal of Physics: Conference Series 1828 (2021) 012016. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1828/1/012016

REFERENCES

- [1] Jimenez, J.M.C., Lara, L.C.V., Rueda, A., Trujillo, N.F.S.: Geomechanical wellbore stability modeling of exploratory wells - study case at Middle Magdalena Basin. C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro 3(3), 85-102 (2007)
- [2] Albukhari, T., Bishish, G., Abouzbeda, M., Eramah, A.: Geomechanical wellbore stability analysis for the reservoir section in J-NC186 oil field. In: ISRM 1st International Conference on Advances in Rock Mechanics - TunRock 2018. Hammamet, Tunisia, March 2018
- [3] Wibowo, H.B., Julianto, C., Buntoro, A., Subiatmono, P.: Mud Weight Evaluation Based on Safe Mud Window in Drilling Well "X-1" to Overcome Caving and Partial Loss Problems in The Oil Field. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 830 (2021). doi: 10.1088/1755-1315/830/1/012074
- [4] Le, K., Rasouli, V.: Determination of safe mud weight windows for drilling deviated wellbores: a case study in the North Perth Basin. WIT Trans. Eng. Sci. 30(81), 83–95 (2012). doi: 10.2495/PMR120081
- [5] <https://www.drillings.ru/plotnabr> (in Russian)
- [6] Efendiyev, G.M.: Estimation of the required mud density according to the data received during well drilling. Azerbaijan Oil Industry 9, 31-34 (1990). (in Russian)
- [7] Efendiyev, G.M., Mammadov, P.Z., Piriverdiyev, I.A., Sarbopeyeva, M.D.: Selection of the best combination of bit types and technological parameters during drilling, taking into account uncertainty. Procedia Computer Science 120, 67–74 (2017). doi: 10.1016/j.procs.2017.11.211
- [8] Efendiyev, G.M., Guliyev, H.H., Dzhanzakov, I.I., Piriverdiyev, I.A.: Decision-making when drilling wells in complicated conditions taking into account uncertainty. In: XXI International Conference “Rock cutting tools made of superhard materials and technology of its application”, pp. 11-17. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (2018). (in Russian)
- [9] Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., Piriverdiyev I. A., Mammadov, V. N.: Estimation of the lost circulation rate using fuzzy clustering of geological objects by petrophysical properties. Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology **81(2)**, 28-33 (2018)
- [10] Efendiyev, G. , Isayev R., Piriverdiyev I. Decision-Making while Drilling Wells based on the Results of Modeling the Characteristics of Rocks using Probabilistic-Statistical Methods and Fuzzy Logic. ISAIC 2020. Journal of Physics: Conference Series 1828 (2021) 012016. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1828/1/012016

ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ АНЫҚ ЕМЕС ЛОГИКА НЕГІЗІНДЕ БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІСІНІҢ ОҢТАЙЛЫ ТЫҒЫЗДЫҒЫН ТАҢДАУ ТУРАЛЫ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ

Г.М. Эфендиев,

Әзербайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігі Мұнай және газ институты, Баку, Әзербайжан

И.А. Пиривердиев,

Әзербайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігі Мұнай және газ институты, Баку, Әзербайжан

М. К. Каражанова,

Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан

М.Б. Аскеров

Әзербайжан Мемлекеттік Мұнай және Өнеркәсіп университеті, Баку, Әзербайжан

Аңдатпа. Ұңғыма қабырғаларының тұрақсыздығымен, бұрғылау сұйықтығының сіңірілуімен және т.б. байланысты бұрғылаудың әртүрлі мәселелерін болдырмау үшін бұрғылау ерітіндісінің «қауіпсіздік терезесі» түсінігін пайдалану қажет. Бұрғылау сұйықтығының қауіпсіздік терезесінің шекараларын есептеу ұңғымаларды қауіпсіз бұрғылау үшін бұрғылау сұйықтығының тығыздығын таңдауды негіздеуге мүмкіндік береді. Дегенмен, оның барлық артықшылықтарымен «қауіпсіздік терезесінің» шекараларын олардың бұлдырлығына байланысты дәл анықтау мүмкін емес, бұл анық емес логикаға негізделген және гетерогендіктің осы түрін ескере отырып, сәйкес әдістерді қолдануды талап етеді. Бұл мақалада Әзірбайжан, Ресей және Қазақстандағы бірнеше кен орындарының мысалында бұрғылау сұйықтығының тығыздығын таңдауда анық емес жиындар теориясының негізгі принциптерін қолдануға негізделген тәсіл ұсынылады. Тығыздықты анықтауға арналған теңдеу алынды, кейбір өрістер үшін осы өрнек арқылы есептеулер жүргізілді және геомеханикалық зерттеулер негізінде «қауіпсіздік терезесі» деп аталатын шекаралар бағаланды.

Кілт сөздер: бұрғылау сұйықтығының қауіпсіздік терезесі, белгісіздік, шешім қабылдау, оңтайлы тығыздық, қысым градиенттері, мақсаттар мен шектеулер

DECISION MAKING ON THE SELECTION OF OPTIMUM MUD DENSITY BASED ON GEOMECHANICAL MODELING AND FUZZY LOGIC

G.M. Efendiyev,

*Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku,
Azerbaijan*

I.A. Piriverdiyev,

*Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku,
Azerbaijan*

M.K. Karazhanova,

Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

M.B. Asgarov

Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

Abstract. In order to avoid various drilling problems associated with instability of the wellbore walls, lost circulation, etc., it is necessary to use the concept of a “safety window” of the drilling fluid. Calculation of the boundaries of the mud safety window makes it possible to justify the choice of mud density for safe drilling of wells. However, with all its advantages, it is impossible to accurately determine the boundaries of the “safety window” due to their blurriness, which requires the use of appropriate methods based on fuzzy logic and taking into account this type of heterogeneity. This article proposes an approach based on the application of the basic principles of fuzzy set theory to the choice of drilling mud density using the example of several fields in Azerbaijan, Russia and Kazakhstan. An equation for determining density was obtained, calculations were made using this expression for some fields, and the boundaries of the so-called “safety window” were assessed based on geomechanical studies.

Keywords: safety window of mud, uncertainty, decision making, optimal density, pressure gradients, objectives and limitations.