

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
МЕХАНИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
И ПРОГРАММНОГО РАСЧЕТА
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКВАЖИНЫ**

Садыков М.И., Досенко М.А., Яворская А.А.
Научные руководители Блинов П.А., Цыгельнюк Е.Ю.
Санкт-Петербургский горный университет

При бурении скважин, особенно разведочных, одним из наиболее часто встречающихся видов осложнений является проблема устойчивости стенок скважины при бурении интервалов неустойчивых и проницаемых горных пород [1, 2]. Одним из способов решения данной проблемы является создание изоляционных составов на основе водонабухающих полимеров и/или применение буровых растворов, в состав которых введены добавки, увеличивающие устойчивость стенок скважины.

Авторское исследование устойчивости стенок скважины при бурении наклонно-направленных скважин в проницаемых и неустойчивых горных породах опираются на оценку действия фильтра бурового раствора и водонабухающих полимеров (ВНП). В качестве буровых растворов авторами рассматриваются различные растворы, как на водной основе, так и на безводной основе. В работах, как правило, оценивается действие компонентов бурового раствора, обладающих вяжущей способностью.

Актуальность данной работы заключается в изучении действия водонабухающего полимера и буровых растворов на устойчивость стенок скважины. Испытания на определение устойчивости стенок скважины проводятся на устройстве одноплоскостного среза. Целью работы является повышение эффективности бурения наклонно-направленных скважин в интервалах залегания неустойчивых и проницаемых горных пород в условиях репрессии на пласт.

Лицензионный блок находится в восточной части Северного моря в 40 км от Нидерландов. Скважина бурится на шельфе с платформы, поэтому необходимо проектировать траекторию в программном обеспечении Landmark таким образом, чтобы из одной точки привязки максимально изучить интересующую залежь. Траектория прокладывается так, чтобы скважина не затрагивала ближайшие продуктивные скважины, при этом попадая в резервуар с условным номером 22. Скважина проходит через

зону осложнений (1590 – 2489 метров), таких как: обрушение стенок скважины, зоны слабосцементированных песчаников, трещиноватых ангидритов, а также пропластков глины.

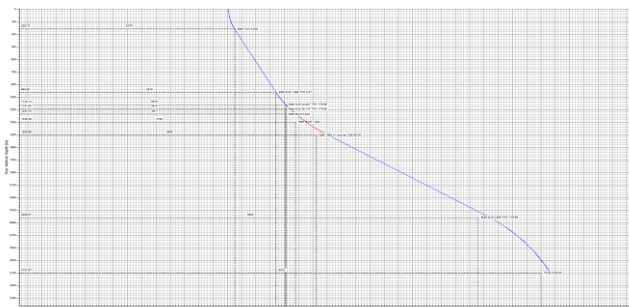


Рис. 1 – Результаты проектирования нового профиля с увеличенным отходом



Рис. 2 – Исходный профиль бурения

Наклонная секция спроектирована таким образом, чтобы не задеть резервуар с условным номером 32, принадлежащий другому недропользователю, который может быть потенциальной угрозой для бурения в случае вскрытия зоны слабосцементированных песчаников.

Результаты испытаний моделей горной породы и расчет коэффициента запаса прочности стенки скважины.

Испытание составов происходило на модели проницаемой горной породы влажностью 18 % – 20 %.

Используемые составы буровых растворов для модели №1:

1 состав: Вода + Мел (CaCO_3) 50 мкм; 2 состав: Вода + Жидкое стекло 5 %; 4 состав: Вода + Мел + Комета-Метеор 3 %; 5 состав: Вода + Ксантановая смола 5 %.

Таблица 1 – Результаты испытаний и рассчитанный коэффициент запаса прочности

Образец	Контр. образец ГП (влажность 18%-20 %)	Вода + CaCO_3 (50 мкм)	Вода + 5 % жидкое стекло	Вода + 5 % латекс	Вода + CaCO_3 (50 мкм) + КМ-ПВР 3 %	Вода + ксантановая смола 5 %
С, кПа	27,43	15,9	14,47	24,19	14,01	31
ρ , град	27,57	30,22	32,93	27,45	33,58	39,7
Зенитный угол, θ	К _{зап} – коэффициент запаса прочности					
60°	0,942	1,051	1,172	0,937	1,202	1,536
75°	0,816	0,907	1,007	0,812	1,032	1,306
90°	0,779	0,864	0,958	0,775	0,982	1,238

С – сцепление горной породы; ρ – угол внутреннего трения.

Используемые составы ВУС (вязко-упругий состав) для модели №2:

1 состав: Вода+ВНП 5 %; 2 состав: Полиэконол-Флора+ВНП 5 %; 3 состав: Вода +РНРА 5 %; 4 состав: DrillLine2+ВНП 5 %.

Таблица 2 – Результаты испытаний и рассчитанный коэффициент запаса прочности

Образец	Контрольный образец ГП (влажность 18 %-20%)	Вода + ВНП 5 %	Полиэконол-Флора + ВНП 5 %	Вода + 5 % ВНП (12 часовой отстой в эксикаторе)	Вода + РНРА 5 %
С, кПа	4	11	3	14	3
ρ , град	22	25	30	31	38
Зенитный угол, θ	К _{зап} – коэффициент запаса прочности				
60°	0,92	1,01	1,041	1,084	1,434
75°	0,798	0,891	0,899	0,935	1,223
90°	0,762	0,820	0,857	0,891	1,16

С – сцепление горной породы; ρ – угол внутреннего трения

Методика расчета устойчивости стенок скважины

К главным вопросам при решении задачи расчета устойчивости стенки ствола скважины относится правильный выбор геомеханической модели горного массива. Для глинистых и слабых слоистых пород наиболее подходящей является упругопластическая трансверсально-изотропная среда с критерием разрушения Кулона – Мора.

Несущая способность горных пород обусловлена в основном сопротивлением сдвигу и отрыву. Критическую величину сопротивления сдвигу в среде, которую в среднем считают однородной по всем направлениям, на данной ориентированной площадке, т.е. критерий местного разрушения, представляют обычно в виде $\tau \leq [\tau]$, где $[\tau]$ – предел прочности,

$$[\tau] = k - \sigma_n \operatorname{tg} \rho, \quad (1)$$

где σ_n – нормальное напряжение на площадке,

k – величина сцепления горной породы;

ρ – угол трения прочностными характеристиками породы.

Абсолютная величина касательных напряжений в плоскости ослаблений (горизонтальной плоскости) может быть вычислена путем преобразований компонент тензора напряжений к системе координат, связанной с плоскостью напластования следующим образом

$$\tau = -(q + p_c) \sin \theta \sqrt{1 - \cos^2 2\varphi \sin^2 \theta}. \quad (2)$$

Сжимающие напряжения, нормальные к плоскости напластования, будут:

$$\sigma_n = q - (q + p_c) \cos 2\varphi \sin^2 \theta. \quad (3)$$

Следовательно, наиболее опасными точками контура будут те точки, для которых раньше всего выполняется условие $\tau = [\tau]$, где $[\tau]$ определяется соотношением (1). В этих точках комбинация

$$Q(\theta, \varphi) = \tau + \sigma_n \operatorname{tg} \rho = \max \quad (4)$$

будет максимальной. Для нахождения данного локального максимума по φ необходимо подставить выражения (2), (3) в (4), продифференцировать по φ , приравнять результат дифференци-

рования к нулю и решить полученное уравнение относительно φ . Результат получается неочевидным. Величина критического угла φ , условие разрушения даются следующими формулами:

$$\varphi = 0, \text{ для } 0 \leq \theta < \rho, \quad (5)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \arccos \left[\frac{\sin \rho}{\sin \theta} \right], \quad (6)$$

для $\rho \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$.

Величины действующих в стенке максимальных касательных τ_{max} и нормальных σ напряжений зависят от значительного числа факторов, а поэтому для удобства принятия решения предлагается рассчитывать запас прочности n в рассматриваемой точке стенки скважины по формуле:

$$n = \frac{[\tau]}{\tau_{max}}. \quad (7)$$

Проверка возможности использовать величину запаса прочности в качестве обобщенной характеристики напряженного состояния породы, слагающей стенку скважины, проведена по экспериментальным данным, опубликованным Н.С. Тимофеевым и др. [4].

В результате данных вычислений можно наблюдать динамику изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) и запас прочности породы в рассматриваемой точке скважины в зависимости от состава бурового раствора и зенитного угла. Данная методика позволяет не только определить опасные сечения скважины, но и влияние того или иного реагента на устойчивость ствола. В перспективе, с помощью этой методики определения устойчивости возможна оптимизация профиля скважины, исключая протяженные интервалы опасных зенитных углов.

Выводы:

1. При исследовании буровых растворов наилучшие результаты по упрочнению стенок скважины показал буровой раствор на основе воды и ксантановой смолы. Ксантановая смола увеличивает, как сцепление горной породы, так и угол внутреннего трения, что благоприятно сказывается на устойчивости стенок скважины.

2. Состав ВВП на водной основе при малом времени на раскрытие увеличивает сцепление горной породы, но понижает угол внутреннего трения. При 12 часовой выдержке состава увеличивается, как сцепление, так и угол внутреннего трения, что позволяет сказать об увеличении коэффициента устойчивости.

3. Состав ВВП в растворе на углеводородной основе (Полиэконал-Флора) показал свою эффективность, увеличив коэффициент устойчивости, при снижении сцепления и увеличения угла внутреннего трения.

4. Наилучшие результаты показал ВУС на основе РНРА, увеличив коэффициент устойчивости в опасных точках на 50 % – 60 % (коэффициент запаса при зенитном угле 70 – 90 градусов).

5. По результатам расчета коэффициента запаса прочности стенок скважины, исходя из действия фильтра, как раствора, так и ВВП, можно сделать вывод, что с помощью применения специальных технологических жидкостей, действительно, возможно упрочнить ствол скважины, что ведет к повышению эффективности наклонно-направленного бурения.

Библиографический список

1. *Бабаян Э.В. Конструкция нефтяных и газовых скважин. Осложнения и их преодоление: Учебное пособие – Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – 252 с.*

2. *Кореняко А.В., Петров Н.А., Давыдова И.Н., Комлева С.Ф. Исследование водонабухающего полимера с целью расширения области применения реагента [Электронный ресурс]// Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2007. 16 с. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/PetrovNA/PetrovNA_8.pdf*

3. *Николаев Н.И. Буровые промывочные жидкости: Учеб. пособие / Н.И. Николаев, Ю.А. Нифтонов, П.А. Блинов. – Санкт-Петербург: СПГУ, 2002. – 103 с.*

4. *Киреев А.М. Управление проявлениями горного давления при строительстве нефтяных и газовых скважин: Монография /А.М. Киреев, В.С. Войтенко. – Тюмень, 2006. – Т. 1. – 280 с; Т. 2. – 286 с.*