



УДК 622.24

## Разработка состава технологической жидкости для ликвидации прихвата бурильного инструмента

Е.А.РОГОВ

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Московская обл., Россия

В процессе строительства скважин одним из сложных видов аварий является прихват бурильного инструмента, вследствие которого нефтегазодобывающие предприятия несут значительные убытки по причине оставления части колонны бурильных труб в скважине, зарезке дополнительного ствола, а иногда и потери скважины. В случае ликвидации прихвата в результате сальникообразования положительный результат может быть достигнут путем закачки порций технологической жидкости в зону прихвата. Разрушение сальника при физико-химическом воздействии на него состава технологической жидкости в общем случае позволяет обеспечить полное или частичное разупрочнение сальника, изменить давление в зоне прихвата и значительно снизить усилие, необходимое для освобождения прихваченного инструмента. В статье представлены результаты лабораторных исследований по изучению воздействия различных составов технологических жидкостей на сальник с целью ликвидации прихвата бурильного инструмента. Эффективность разрушения сальника оценивалась по снижению касательных напряжений после физико-химического воздействия на него различных составов технологических жидкостей в течение одинакового периода времени. В качестве технологической жидкости для ликвидации прихвата в результате сальникообразования рекомендуется использовать 10 %-ный водный раствор оксигетилдифосфоновой кислоты с добавкой 0,5 % поверхностно-активного вещества альфа олефин сульфонат натрия.

**Ключевые слова:** скважина; сальник; прихват бурильного инструмента; технологическая жидкость

**Как цитировать эту статью:** Е.А.Рогов. Разработка состава технологической жидкости для ликвидации прихвата бурильного инструмента // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 281-284. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.281

**Введение.** В процессе строительства скважин прихват бурильного инструмента чаще всего происходит в связи с нарушением технологии бурения, недостаточно правильным учетом особенностей геологического строения месторождения, степени изученности литологического состава и свойств горных пород. Проведенный зарубежными исследователями анализ показывает, что 45 % от общего затрачиваемого баланса аварийного времени приходится на ликвидацию прихватов бурильного инструмента, и нефтегазовая промышленность тратит значительные денежные средства для устранения этого осложнения.

По характеру удерживающей силы и обстоятельств, предшествующих их возникновению прихвата бурильного инструмента подразделяются на несколько видов [1, 6, 7, 12, 13]: из-за перепада давления или дифференциальные; в желобной выработке; вследствие оседания твердой фазы; из-за заклинивания в суженной части ствола; посторонними предметами и кусками вывалившейся твердой породы; из-за осыпей, обвалов и ползучести пластичных пород; в результате сальникообразования.

Возникновение прихвата в результате сальникообразования обуславливается в основном снижением устойчивости глинистых пород, что связано с нарушением естественных условий залегания и действием различных факторов (геологических, технических, технологических) в процессе строительства скважины [14]. Причины, обуславливающие снижение устойчивости стенок ствола скважины – напряженное состояние пород в околоскважинной зоне и физико-химические свойства буровых растворов, применяемых при бурении, причем по мере углубления скважины вероятность возникновения прихвата возрастает [5]. Поэтому основным фактором, вызывающим прихват бурильного инструмента в результате сальникообразования является физико-химическое взаимодействие бурового раствора с глинистой породой при разбуливании мощных глинистых отложений, горных пород, содержащих в основном глинистые минералы, а также обвалившихся или осыпавшихся вышележающих пород.

В настоящее время представления о структурных связях в глинистых минералах основываются на том, что их формирование происходит под влиянием химических, физических, физико-химических и осмотических процессов, способствующих возникновению на контактах глини-



стых частиц сложных взаимодействий различной природы и энергии (молекулярное, капиллярное, магнитное, дипольное, ионо-электростатическое и химическое взаимодействие) [8, 11]. Глинистые минералы склонны к поверхностной гидратации и диспергированию в растворах на водной основе, осмотическому увлажнению и осушению, значительному снижению прочности при увлажнении, подверженности к эрозионному воздействию потока раствора [3]. При контакте глинистых минералов с буровым раствором происходит ионный обмен между ними, приводящий к изменению структуры глинистых минералов, т.е. к увеличению объема глинистых минералов с сохранением их связанности, традиционно называемое набуханием глин. Набухание глин определяется типом глинистых минералов, например, наиболее набухающими с сохранением связанности являются монтмориллонитовые глины, менее связанные – каолиновые [15].

Сальник на породоразрушающем инструменте образуется лавинообразно, слипание глинистых частиц друг с другом происходит через адсорбционные слои за счет сил Ван-дер-Ваальса, в результате чего образуется довольно плотный сальник, препятствующий дальнейшему бурению скважины. Бесспорно, что минералы глин служат главными факторами, обуславливающими такие свойства горных пород как влагоемкость, активность ионного обмена, набухаемость, пластичность, прочность, дисперсность, размокаемость. Следовательно, успех безаварийного бурения скважины до проектной глубины во многом зависит от степени изученности геологического разреза и от минералогического состава глинистой части слагаемых пород.

Существующие способы ликвидации прихвата основаны на применении физико-химических, гидравлических, механических воздействий на зону прихвата или их комбинаций [2, 4, 10].

- Физико-химические способы основаны на закачке в зону прихвата порций технологических жидкостей, которые ослабляют или устраняют удерживающую силу путем химического растворения, разжижения или других воздействий или их комбинаций.

- Гидравлические способы базируются на изменении прежде всего гидравлического давления в зоне прихвата путем регулирования гидростатической составляющей давления или формирования гидравлических импульсов и волн в столбе бурового раствора (в трубах и затрубном пространстве).

- Механические способы основаны на создании квазистатических (расхаживание инструмента и отбивка ротором), вибрационных или ударных нагрузжений на бурильную колонну.

Отсутствие или наличие циркуляции бурового раствора ограничивает выбор возможных способов. Наиболее простыми способами следует считать те, которые не требуют отвинчивания свободной части бурильного инструмента над зоной прихвата и спуска в скважину специального устройства [16]. Поэтому в случае возникновения прихвата бурильного инструмента в результате сальникообразования с частичной потерей циркуляции одним из эффективных способов его ликвидации является закачка технологической жидкости в зону прихвата, при этом наибольшая вероятность ликвидации прихвата обеспечивается в том случае, когда технологическая жидкость закачивается в зону прихвата сразу же после его обнаружения.

**Методология.** С целью выбора эффективного состава технологической жидкости на водной основе для ликвидации прихвата в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработана лабораторная установка [9], схема которой представлена на рисунке.

Лабораторная установка включает емкость 1, сальник 2, полый металлический цилиндр 3, имеющий с одной стороны вертикальный ряд сквозных отверстий 4 и верхнее отверстие 6 для заливки исследуемого состава технологической жидкости 5, пластину 7, прикрепленную к задней стенке емкости 1, металлическую проволоку 8, индикатор часового типа 9, нить 10, чашку с разновесами 11, подвесной натяжной ролик 12, неподвижный ролик 13 и стойку 14.

Выбор эффективной рецептуры технологической жидкости на водной основе для ликвидации прихвата осуществляли по следующей методике. Из бентонитового глинопорошка приготовили глинистую пасту (имитирующую сальник 2) плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$ . Емкость 1 заполнили глинистой пастой и поместили в нее полый цилиндр 3 длиной  $l = 0,25 \text{ м}$ , плотностью  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ , наружным диаметром  $d = 0,04 \text{ м}$ , массой  $m = 0,262 \text{ кг}$  на глубину  $l_c = 0,18 \text{ м}$  и оставили в покое в течение заданного периода времени. Далее в полый цилиндр через отверстие 6 залили исследуемый состав технологической жидкости объемом 75 мл и после истечения заданного периода времени воздействия жидкости на сальник постепенно нагружали чашку разновесами, определяли усилие  $Q$ , необходимое для страгивания полого цилиндра.

В этом случае согласно представленной схемы лабораторной установки, усилие можно определить по формуле

$$Q = G + S_{\tau}, \quad (1)$$

где  $G$  – вес полого цилиндра, Н;  $S_{\tau}$  – площадь контакта полого цилиндра с сальником,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – касательные напряжения сдвига на поверхности соприкосновения полого цилиндра с сальником, Па.

Относительно касательных напряжений с учетом исходных данных уравнение (1) можно представить в следующем виде:

$$\tau = \frac{Q - gm / l[l_b + l_c(1 - \rho_c / \rho)]}{\pi l_c d}, \quad (2)$$

где  $l = l_b + l_c$  – длина полого цилиндра, м;  $l_b$  – длина полого цилиндра над верхней границей зоны прихвата, м;  $l_c$  – длина полого цилиндра в сальнике, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $m$  – масса полого цилиндра, кг;  $\rho$ ,  $\rho_c$  – плотность материала полого цилиндра и сальника,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d$  – диаметр полого цилиндра, м.

Рассчитанные по формуле (2) касательные напряжения  $\tau$  использованы в качестве показателя эффективности воздействия различных составов технологических жидкостей на сальник с целью разрушения его структуры в течение времени  $t = 6$  ч. В процессе проведения лабораторных экспериментов длина погружения полого цилиндра в сальник ( $l_c = 0,18$  м) выбрана из интервала значений половины периметра наружного диаметра бурильных труб, применяемых при бурении скважин ( $\pi d/2 = \pi(0,042-0,273)/2 = 0,065-0,428$  м), а среднее время воздействия технологической жидкости на сальник (6 ч) было принято на основании анализа промысловых данных при ликвидации прихватов.

В качестве составов технологических жидкостей для ликвидации прихвата бурильного инструмента были исследованы:

- 10 %-ный водный раствор натрия серноватистоокислого ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) с 0,5 %-ной добавкой поверхностно-активного вещества (ПАВ) – сульфанола;
- 10 %-ный водный раствор оксиэтилидендифосфоновой кислоты ( $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_7\text{P}_2$ ) с 0,5 %-ной добавкой ПАВ – альфа олефин сульфоната натрия (АОС);
- 10 %-ный водный раствор калия азотнокислого ( $\text{KNO}_3$ ) с 0,5 %-ной добавкой ПАВ – неона АФ 9-12.

**Обсуждение.** В ходе проведенных экспериментов установлено, что разрушение сальника в статических условиях при воздействии на него 10 %-ного водного раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  с 0,5 %-ной добавкой сульфанола не происходит. Технологическая жидкость на основе 10 %-ного водного раствора  $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_7\text{P}_2$  с 0,5 %-ной добавкой альфа олефин сульфоната натрия более эффективно разрушает сальник по сравнению с 10 %-ным водным раствором  $\text{KNO}_3$  с 0,5 %-ной добавкой неона АФ 9-12.

Например, после физико-химического воздействия технологической жидкости (10 % водный раствор  $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_7\text{P}_2$  с добавкой 0,5 % АОС) на сальник, усилие  $Q$  при страгивании полого цилиндра составило 3,5 Н. В этом случае касательные напряжения в момент страгивания полого цилиндра из сальника составляют

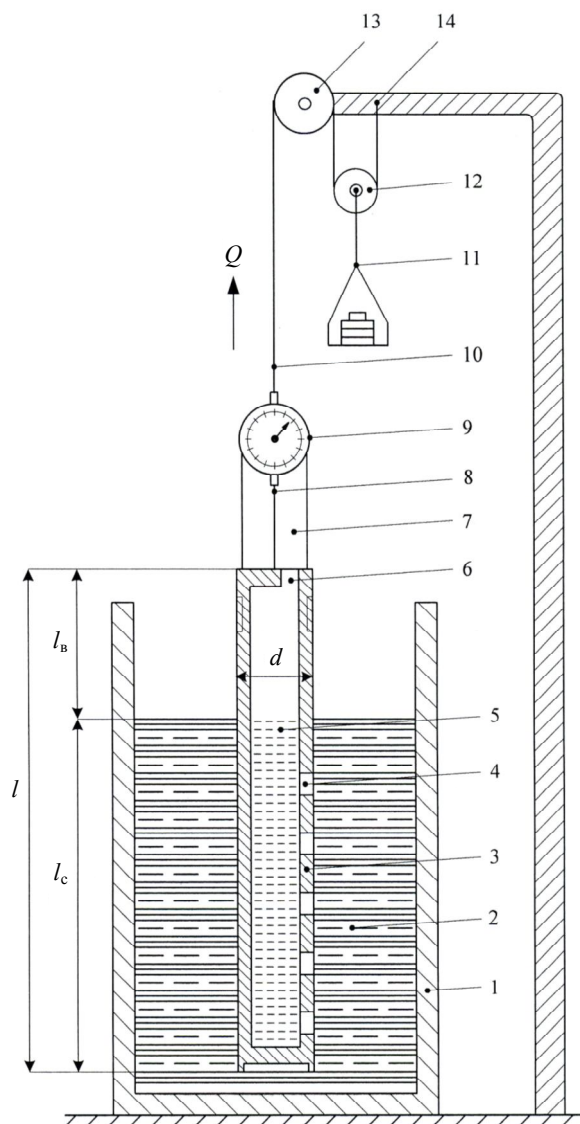


Схема лабораторной установки



$$\tau = \frac{3,5 - 9,81 \cdot 0,262 / 0,25 \cdot [0,07 + 0,18 \cdot (1 - 1300 / 2700)]}{3,14 \cdot 0,18 \cdot 0,04} = 80,54 \text{ Па.}$$

Результаты лабораторных экспериментов по выбору эффективного состава технологической жидкости с целью ликвидации прихвата бурильного инструмента представлены в таблице.

**Значения касательных напряжений  $\tau$  после физико-химического воздействия различных составов технологических жидкостей на сальник за  $t = 6$  ч**

Состав технологической жидкости	Страгивающее усилие $Q$ , Н	Касательные напряжения $\tau$ , Па
10 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 0,5 % сульфонола	4,22	112,38
10 % $\text{KNO}_3$ + 0,5 % неонола АФ 9-12	3,98	101,77
10 % $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_7\text{P}_2$ + 0,5 % АОС	3,50	80,54

**Заключение.** Проведенные лабораторные исследования показали, что разработанная в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» технологическая жидкость на основе 10 %-ного водного раствора оксиэтилидендифосфоновой кислоты с добавкой 0,5 % альфа олефин сульфонат натрия позволяет повысить эффективность освобождения прихваченного бурильного инструмента в результате сальникообразования за счет повышения диспергирующих свойств состава.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басарыгин Ю.М. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин при их строительстве и эксплуатации / Ю.М.Басарыгин, В.Ф.Будников, А.И.Булатов. М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2000. Т. 1. 510 с.
2. Булатов А.И. Современное состояние техники и технологии предупреждения и ликвидации прихватов колонн труб М.: ВНИИОЭНГ, 1974 (НТС. Серия Бурение. № 10). С. 6-12.
3. Выбор раствора для разбуривания глинистых пород / В.Н.Кошелев, М.С.Гвоздь, Б.А.Растегаев, В.А.Ульшин, Т.Г.Фактуллин // Бурение и нефть. 2015. № 9. С. 27-32.
4. Галимов М.А. Гидродинамические способы ликвидации прихватов бурильных колонн / М.А.Галимов, А.К.Самоной М.: ВНИИОЭНГ, 1981 (Обзор. Серия Бурение). 59 с.
5. Ганджумян Р.А. Практические расчеты в разведочном бурении. М.: Недра, 1986. 253 с.
6. Иванников В.И. О классификации прихватов в глубоком бурении / В.И.Иванников, И.В.Иванников // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2010. № 11. С. 24-26.
7. Инструкция по борьбе с прихватами колонны труб при бурении скважин. М.: Недра, 1976. 97 с.
8. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
9. Патент РФ на полезную модель № 134585 РФ. Установка для исследования состава жидкостной ванны, ликвидирующей прихват трубных колонн в вертикальной скважине / Е.А.Рогов, А.Я.Исчаков, С.Г.Солдаткин. Оpubл. 20.11.2013. Бюл. № 32.
10. Пустовойтенко И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. М.: Недра, 1988. 279 с.
11. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. 400 с.
12. Самоной А.К. Прихваты колонн при бурении скважин. М.: Недра, 1984. 205 с.
13. Середина Н.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин / Н.Г.Середина, Е.М.Соловьев. М.: Недра, 1974. 456 с.
14. Сулакишин С.С. Бурение геологоразведочных скважин. М.: Недра, 1991. 334 с.
15. Хавкин А.Я. Влияние глинистых минералов на эффективность технологических операций в скважинах // Бурение и нефть. 2002. № 12. С. 12-14.
16. Ясов В.Г. Осложнения в бурении / В.Г.Ясов, М.А.Мыслюк. М.: Недра, 1991. 334 с.

**Автор** Е.А.Рогов, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, E\_Rogov@vniigaz.gazprom.ru (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Московская область, Россия).

Статья принята к публикации 03.07.2018.

Статья поступила в редакцию 28.01.2019.