

БУРЕНИЕ СКВАЖИН

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ГИДРОЭЛЕВАТОРОВ ДЛЯ ПОДЪЕМА ПУЛЬПЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПРИ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

И.Б. Бондарчук

Научный руководитель профессор С.Я. Рябчиков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из основных способов подъема пульпы на поверхность при скважинной гидродобыче (СГД) твердых полезных ископаемых является гидроэлеваторный способ, сущность которого заключается в применении эжекторных устройств, обеспечивающих смешение двух потоков (пульпы и рабочей жидкости) с разным давлением с образованием смешанного потока со средним значением давления.

Одной из значимых проблем при разработке гидроэлеваторов является их расчет, который должен обеспечить определение геометрических и гидравлических параметров эжекторного устройства.

Большинство современных методов расчета эжекторных устройств основаны на сочетании теоретических и экспериментальных исследований. К таким методам относятся работы Фридмана Б.Э. [6], Каменева П.Н. [2], Соколова Е.Я. и Зингера Н.М. [4] и др. Такой подход к расчету может нести частный характер, а полученные выводы могут быть справедливы лишь для определенных конструкций эжекторов и условий их работы [1]. Большой интерес представляет методика расчета эжекторных устройств, разработанная Арбитом В.С., которая позволяет без проведения экспериментальных исследований определять оптимальные параметры эжекторов, работающих в докавитационном режиме для решения конкретной технической задачи [1].

нами расчет
подъема пульпы
основан на
формулах и
вышеупомянутых
гидроэлеваторов
следующими
эжектируемый
удельный вес
пульпы γ_n , высота
динамической
глубина
динамический
максимальный
вес

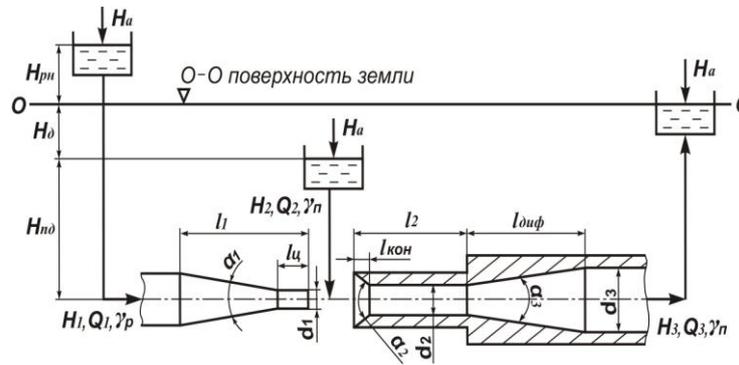


Рис. Расчетная схема гидроэлеватора

Предлагаемый
гидроэлеваторов
для
на поверхность при СГД
использовании ряда
утверждений
ученых. Для расчета
необходимо задаваться
исходными данными:
расход пульпы Q_2 ,
рабочей жидкости γ_p и
подъема пульпы H_3 ,
уровень в скважине H_0 ,
погружения эжектора под
уровень H_{n0} , размер
фракции d_m и удельный
транспортируемой горной

породы γ_m , диаметр пульпоподъемной колонны d_3 . Следует отметить, что рабочая жидкость должна поступать в гидроэлеватор от насоса с жесткой напорно-расходной характеристикой.

Расчетная схема гидроэлеватора приведена на рисунке. Расчет гидроэлеваторов при СГД сводится к следующим операциям:

1. Рассчитывается диаметр камеры смешения d_2 , исходя из крупности поднимаемых частиц горной породы ($d_m = 0,75 d_2$ [6]) и условия: $n = f_3/f_2 \geq 3$ [6] (где n – степень расширения диффузора; f_2 и f_3 площади сечения соответственно камеры смешения и выходного сечения диффузора). Следовательно,

$$(d_m / 0,75) \leq d_2 \leq \sqrt{d_3^2 / 3}. \quad (1)$$

2. Рассчитывается скорость в камере смешения v_2' (м/с), которую необходимо знать для подъема пульпы на заданную высоту [6]

$$v_2' = \sqrt{\frac{2g\sigma_{omn}(H_3 + H''')}{\eta_{диф}}}, \quad (2)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; σ_{omn} – оптимальная степень восстановления давления в диффузоре, $\sigma_{omn} = 0,87$ при коэффициенте гидравлического сопротивления диффузора $\zeta_{диф} = 0,16$ для высоты подъема пульпы $H_3 \geq 20$ м и $\sigma_{omn} = 0,89$ при коэффициенте гидравлического сопротивления диффузора $\zeta_{диф} = 0,14$ для высоты подъема пульпы $H_3 < 20$ м; H''' – потери напора для пульпы в пульпоподъемной колонне, м; H_3 – высота подъема пульпы, м; $\eta_{диф}$ – к.п.д. диффузора.

Согласно исследованиям Г. Н. Ройера [3], потери напора для пульпы при турбулентном режиме течения определяются как потери напора для воды. Следовательно, $H''' = (H_p'''\gamma_n)/\gamma_p$, (3)

где H_p''' – общие потери напора при движении воды по пульпоподъемной колонне с такой же скоростью, как и пульпа, м, определяемые по формуле $H_p''' = H_{p1}''' + H_{p2}'''$, (4)

где H_{p1}''' – потери напора по длине трубопровода, м; H_{p2}''' – местные потери напора, м. H_{p1}''' рассчитывается по формуле Дарси-Вейсбаха [5] $H_{p1}''' = (\lambda H_3 v_2'^2)/(2gd_3)$, (5)

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса и относительной шероховатости труб. H_{p2}''' рассчитывается по формуле Вейсбаха [5] $H_{p2}''' = (\zeta_m v_2'^2)/2g$, (6)

где ξ_m – коэффициент местного сопротивления. К.п.д. диффузора определяется по формуле [6]

$$\eta_{диф} = 1 - [\xi_{диф} / (1 - 1/n^2)] \quad (7)$$

3. Рассчитывается **общий расход гидросмеси через камеру смещения** Q_3' (м³/ч), учитывая расчетную скорость в камере смещения

$$Q_3' = (\pi d_2^2 v_2') / 4 \quad (8)$$

4. Рассчитывается **необходимый расход рабочей жидкости** Q_1' , выходящей из насадки гидроэлеватора

$$Q_1' = Q_3' - Q_2 \quad (9)$$

5. Определяется **фактический расход рабочей жидкости** Q_1 , исходя из технической характеристики применяемого насоса. При этом $Q_1 \geq Q_1'$. А также определяется фактический общий расход гидросмеси

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (10)$$

6. Проверяется условие предотвращения заиливания пульповода при транспортировании пульпы: $v_3 > v_{кр}$, где v_3 – скорость движения пульпы в пульпоподъемной колонне, м/с

$$v_3 = (4Q_3) / (\pi d_3^2) \quad (11)$$

где $v_{кр}$ – критическая скорость пульпы с учетом энергетической структуры потока, м/с, которая определяется по формуле Г. Н. Роера [3]:

$$v_{кр} = 8,72 d_3^{0,473} \left[(\gamma_n - \gamma_p) W \right]^{0,326} \frac{\gamma_m^{0,0814}}{\sigma_{ак}^{0,17}} \quad (12)$$

где W – гидравлическая крупность частиц транспортируемой породы, м/с, определяемая по эмпирической шкале В. Н. Гончарова [5]; $\gamma_n, \gamma_p, \gamma_m$ – удельные веса соответственно пульпы, рабочей жидкости и транспортируемой породы, г/см³; $\sigma_{акт}$ – активная шероховатость пульповода, м, определяемая по формуле

$$\sigma_{ак} = (d_{95}^{0,6} + 0,5) (\gamma_n / 1,075) \quad (13)$$

где d_{95} – размер транспортируемых частиц, соответствующая 95% на кривой гранулометрического состава, мм.

7. Рассчитывается **коэффициент эжекции**

$$\alpha = (Q_2 \gamma_n) / (Q_1 \gamma_p) \quad (14)$$

8. Рассчитываются **основной геометрический параметр m и напор нагнетания β** , соответствующие максимальному к.п.д. гидроэлеватора в докавитационном режиме по эмпирическим формулам, выведенным Арбитом В.С. [1]:

$$m = 0,53 \sqrt{\alpha + 1} \quad (15)$$

$$h = 0,8 (\alpha + 1)^{-1,7} \quad (16)$$

9. Рассчитывается **диаметр насадки гидроэлеватора d_1** (мм) по формуле

$$d_1 = \sqrt{d_2^2 / m} \quad (17)$$

10. Далее определяются **осевые и угловые размеры гидроэлеватора** по рекомендациям ряда ученых [1, 2, 4, 6 и др.], при которых обеспечиваются минимальные гидравлические потери в проточной части эжектора:

- угол конусности насадки $\alpha_1 = 15 \div 30^\circ$ и полная длина насадки $l_1 = (1 \div 10) d_1$; (18)

- для лучшего формирования струи рекомендуется оканчивать насадку цилиндрическим участком длиной $l_4 = (0,25 \div 2) d_1$; (19)

- расстояние от насадки до камеры смещения $l_4 = (1 \div 3) d_2$; (20)

- относительная длина камеры смещения $l_2 = (6 \div 8) d_2$; (21)

- угол входа в камеру смещения $\alpha_2 = 45 \div 60^\circ$ и длина конфузурной части $l_{кон} = (0,8 \div 2) d_2$; (22)

- угол раскрытия диффузора $\alpha_3 = 8^\circ$ и длина диффузора $l_{диф} = [(d_3 - d_2) \text{ctg}(\alpha_3/2)] / 2$. (23)

11. Рассчитывается **необходимый напор у входа в насадку H_1** (м), исходя из уравнения Бернулли [5]:

$$H_1 = v_1^2 / (2g \varphi_n^2) \quad (24)$$

где φ_n – коэффициент скорости насадки, по рекомендации Е.Я. Соколова [4] $\varphi_n = 0,95$; v_1 – скорость истечения рабочего потока из насадки, м/с, определяемая по формуле

$$v_1 = (4Q_1) / (\pi d_1^2) \quad (25)$$

12. Далее задаются необходимыми значениями напора приводного насоса $H_{пр}$ (при заданном Q_1) и потерь напора в рабочей линии H' (подбирая типоразмеры труб), определяемые путем гидравлических расчетов по формулам Дарси-Вейбаха и Вейбаха [5]. При этом должно выполняться условие

$$H_1 = H_{пр} + H_0 + H_{п0} + H_a + H' \quad (26)$$

где H_a – атмосферное давление, м.

Литература

1. Арбит В.С. Исследование и разработка методики расчета эжекторных буровых устройств с целью создания эффективных технических средств для бурения и освоения скважин: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 1974. – 204с.
2. Каменев П. Н. Гидроэлеваторы в строительстве. – М.: Стройиздат, 1970. – 415 с.
3. Роер Г.Н. Гидравлические расчеты напорного гидротранспорта грунта. Гос. издат. литературы по строительству и архитектуре, 1952 – 100 с.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
5. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.
6. Фридман Б.Э. Гидроэлеваторы. – М.: Машгиз, 1960. – 323 с.

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ БУРОВЫХ РАБОТ ОАО "БЕЛОН-ГЕОЛОГИЯ" И ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗЕРВОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Р.Е. Важанин

Научный руководитель доцент В.Г. Храменков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В основу работы положены исследования, проведенные в период прохождения преддипломной практики (2005 г.) в организации ОАО «Белон-геология» (Кузбасс).

Главной задачей было оптимизировать режимы бурения на участке работ двух передвижных буровых установок типа ЗИФ-650М.

Бурение на данном участке проводилось как алмазным, так и твердосплавным инструментом различного диаметра. Забурка производилась шарошечными долотами типа М диаметром 151 и 132 мм. Далее бурение велось твердосплавными коронками типа СА-5 либо алмазными типа О1А3, О1А4, О2И4 – в зависимости от твердости пород. Основной диаметр коронок 76 мм.

На первом этапе в задачу входило фиксирование и изучение фактических режимных параметров, принятых в работе буровой бригады для конкретных толщ горных пород.

В дальнейшем режимные параметры изменялись по заданной программе. Все данные замеров заносились в специальные хронокарты и обрабатывались по разработанной на кафедре БС ИГНД ТПУ методике. Результатом обработки стали рекомендации по оптимизации выбора коронок и режимов бурения по однородным толщам горных пород. На рис. 1 в качестве примера приведены три из большого количества однотипных графиков, показывающие зависимость механической скорости бурения от частоты вращения коронки при фиксированной осевой нагрузке.

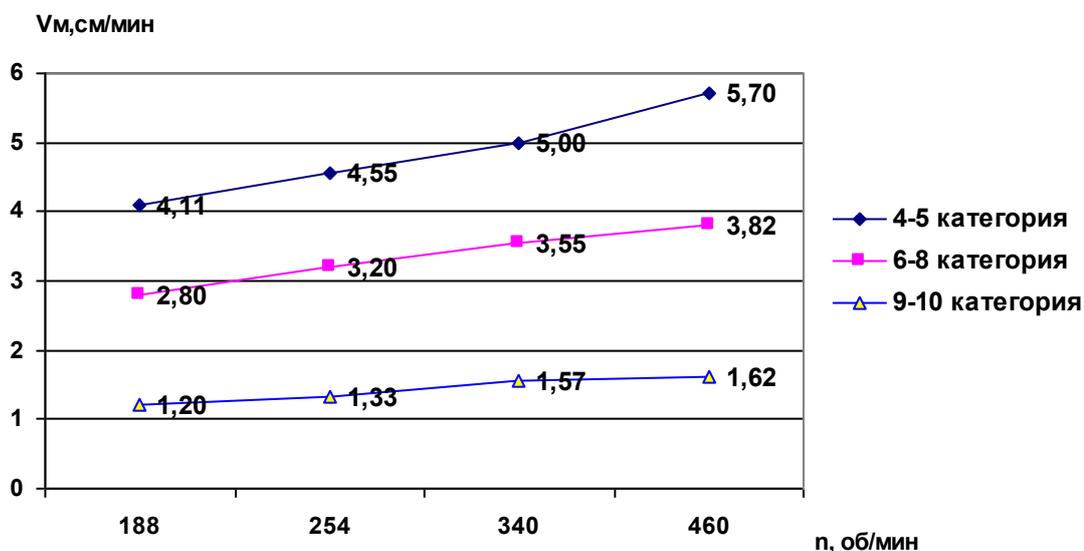


Рис.

1. Зависимость механической скорости бурения V_m алмазными коронками О1А3 и О1А4 диаметром 76 мм (осевая нагрузка 700 – 800 даН) от частоты вращения

Обработка графиков позволила рекомендовать следующие коронки и режимные параметры:

– для горных пород IV-V категории по буримости: твердосплавная коронка СА-5, (осевая нагрузка 700-900 даН, частота оборотов 254 – 340 об/мин); алмазные коронки О1А3, О1А4 (осевая нагрузка 700 – 900 даН, частота оборотов 340 – 460 об/мин);

– для горных пород VI–VIII категории по буримости: твердосплавная коронка СА5 (осевая нагрузка 700 – 900 даН, частота оборотов 254 – 340 об/мин); алмазные коронки О1А3, О1А4 (осевая нагрузка 700 – 1000 даН, частота оборотов 340 – 460 об/мин);

– для горных пород IX – X категории по буримости применение твердосплавных коронок СА-5 допустимо в исключительных случаях (при отсутствии алмазных коронок). При этом рекомендуется: для коронок СА-5 осевая нагрузка 800 – 1000 даН, частота оборотов 254 – 340 об/мин; для коронок О1А3, О1А4 – осевая нагрузка 800 –1100 даН, частота оборотов 340 – 460 об/мин.

Другим вопросом ставилась задача оптимизировать баланс рабочего времени буровых бригад. В качестве примера приведены данные по бригаде бурового мастера Аболонкина В.Ф. (рис. 2).

В результате анализа была дана рекомендация перевести бригады на новый график работы: с трехсуточного на четырехсуточный. В виде эксперимента одна из бригад была переведена на работу по предложенному графику.

Эффект от этого мероприятия можно определить следующим образом. При трехсуточной работе количество пересмен в месяц составляет $30/3 = 10$. При четырехсуточной работе количество пересмен в месяц составляет $30/4 = 7,5$.

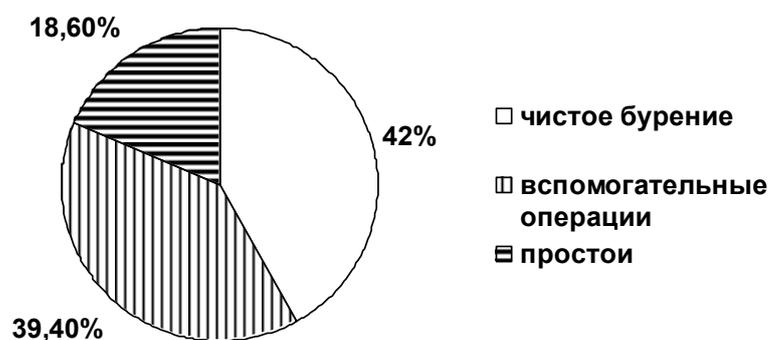


Рис. 2. Баланс рабочего времени экспериментальной бригады (буровой мастер Аболонкин В.Ф.)

В среднем пересмены занимают около 6 – 7 ч, т.е. выигрыш составляет $(10 - 7,5) \cdot 6 = 15$ ч в месяц. Ниже приведен баланс рабочего времени для этой бригады после перевода на новый график работы (рис 3).

Руководству предприятия было предложено перевести на данный режим работы и вторую бригаду.

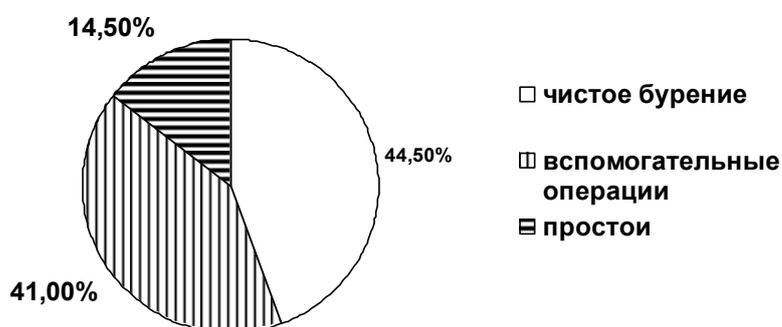


Рис. 3. Баланс рабочего времени экспериментальной бригады после введения нового графика работы (буровой мастер Аболонкин В.Ф.)

В дальнейшем необходимо выявить причины простоев и свести их к минимуму. Пока что в балансе рабочего времени большой процент занимают простои (14,5 %).

АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПОДШИПНИКАХ ОПОР ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

С.Г. Василюк

Научный руководитель доцент А.С. Посташ

**Армавирский механико-технологический институт, филиал Кубанского государственного
технического университета им. С. М. Кирова, г. Армавир, Россия**

Современная практика бурения показывает, что в большинстве случаев причиной подъема шарошечных долот с забоя скважины является опережающий износ опор шарошек.

Наиболее перспективным путем повышения работоспособности опор шарошечных долот является использование новых материалов и смазок, обладающих высокими антифрикционными свойствами.

Таковыми материалами являются композиционные антифрикционные материалы (КАМ) матрично-наполненного типа. Это материалы с гетерогенной структурой, состоящие из регулярно чередующихся участков: износостойкого с относительно низкими значениями коэффициента трения химического соединения, либо сплава и металла, способных прочно удерживать эти включения и образовывать при трении промежуточный предохраняющий от схватывания слой, играющий роль твердой смазки.

Этот материал при правильном выборе исходных компонентов и технологических методов его изготовления может в полной мере отвечать основным требованиям, предъявляемым к антифрикционным материалам для подшипников скольжения опор шарошечных долот. К основным требованиям относятся:

- оптимальная прочность при сжатии и сдвиге;
- способность образовывать промежуточный, предохраняющий от схватывания слой за счет продуктов износа или отдельных структурных составляющих материала;
- достаточно высокая теплопроводность, обеспечивающая отвод тепла, генерируемого в зоне трения;
- низкое значение коэффициента трения;
- некоторый запас вещества, способного исполнять роль смазки и равномерно распределенного в виде включений в поверхностном рабочем слое или во всем объеме материала.

Для оценки эксплуатационных свойств новых КАМ и возможности их применения в герметизированных маслonaполненных опорах долот с подшипниками скольжения (типа ГАУ) по методике были проведены стендовые испытания радиальных подшипников скольжения с рабочей поверхностью из новых КАМ, позволившие в условиях, близких к реальным (при роторном способе бурения), определить эксплуатационные свойства в зависимости от

материалов изготовления деталей подшипников, применяемых смазочных материалов, зазоров и т.д., при различных режимах работы долота (нагрузке, скорости вращения).

Удельная радиальная нагрузка составила 56,4 МПа (575 кг/см²), скорость вращения втулки – 15,7 с⁻¹.

Стендовые образцы радиальных подшипников скольжения, состоящие из втулки и цапфы, по размерам рабочих поверхностей соответствовали малому подшипнику скольжения долота Ш 269,9 СЗ–ГАУ.

Втулки, изготовленные по специальной технологии, имели рабочую поверхность из различных КАМ, а цапфа наплавлялась твердым сплавом – стеллит 3В16К.

Стендовые образцы обрабатывали в среде терmostойкой смазки общего назначения УНИОЛ–1.

Результаты испытаний подшипников скольжения с рабочей поверхностью из КАМ, обладающего лучшими из серии испытанных эксплуатационными свойствами, а также серийных подшипников скольжения (втулка – сталь Х17, цапфа – стеллит 3В16К) представлены в таблице. Доверительная вероятность результатов 0,95 при предельно допустимой относительной погрешности не более 10 %.

Как видно из таблицы, у пары трения стеллит 3В16К – КАМ 5 основной критерий оценки, принятый по методике, – время работы до наступления режима катастрофического изнашивания в 5,6 раза выше, чем у серийной пары стеллит 3В16К – сталь Ст Х 17. Значительно выше и другие эксплуатационные свойства.

Таблица

Результаты испытаний подшипников скольжения с рабочей поверхностью из композиционного антифрикционного материала

Материалы пары трения	Время работы до наступления режима катастрофического изнашивания, ч	Скорость изнашивания, г/ч	Коэффициент трения	Температура в зоне трения, °С
Стеллит 3В16К–сталь Ст Х17	3,06	0,064	0,11	115
Стеллит 3В16К-КАМ 5	17,2	0,007	0,06	85

По результатам выполненной работы следует сделать следующие выводы:

1. Стендовые испытания подшипников скольжения опор шарошечных долот с рабочей поверхностью из новых композиционных антифрикционных материалов позволяют в сжатые сроки и с высокой надежностью провести сравнительную оценку их эксплуатационных свойств, рекомендовать их к промышленному внедрению.

2. Применение новых КАМ в подшипниках скольжения опор долот значительно улучшает технико-экономические показатели работы долот.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОТРАБОТКИ АЛМАЗНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

А.В. Викторов

Научный руководитель доцент В.Г. Храменков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Оптимизация отработки алмазного породоразрушающего инструмента (ПРИ) является составной частью работ по повышению эффективности процесса бурения скважин. Поэтому важно своевременно сделать выводы об эффективности работы алмазного ПРИ (коронки, расширителей и т.д.), о правильности и обоснованности выбора режимных параметров бурения.

Под рациональным уровнем отработки алмазного инструмента понимается такое состояние в них алмазов, при котором дальнейшее бурение алмазной коронкой становится неэффективным.

При бурении скважин на участке «Восточный» рудника «Дукат» (в период преддипломной практики автора, 2005 г.) при бурении установкой НАГВУ применялся алмазный ПРИ фирмы «НОВИС». Алмазные коронки фирмы «НОВИС» предназначены для бурения горных пород VIII–XII категории по буримости; наибольший объем метража приходился на породы IX – X категории по буримости. Условные диаметры коронок – 93, 76 и 59 мм.

Выбор номера матрицы коронок (наименования) производился в соответствии с рекомендациями производителя и практического опыта бурильщиков.

Для сохранности керна и повышения его выхода, а также для повышения механической скорости бурения использовались колонковые снаряды ССК, доказавшие свою эффективность по сравнению с одинарными колонковыми снарядами. Производитель колонковых снарядов ССК-76 и ССК-59 – фирма «BRADLEY».

Бурение производилось при режимных параметрах, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Режимные параметры при бурении скважин буровой установкой НАГВУ

Режимные параметры	76	59
Осевая нагрузка, даН	1000 – 2000	2000 – 3000
Частота оборотов, об/мин	800 – 1200	1200 – 1600
Расход промывочной жидкости, л/мин	30 – 35	25 – 30

Для определения уровня рациональной отработки алмазного инструмента проводился документальный анализ – учет отработки алмазного инструмента, который заключался в составлении отчета по отработанному инструменту.

Было выявлено, что применяемые алмазные коронки фирмы «НОВИС» не соответствовали требованиям, предъявляемым к ним, то есть были ненадлежащего качества. При бурении коронками диаметром 76 мм восемь коронок

были оборваны по резьбе и оставлены в скважине, а при бурении коронками диаметром 59 мм – шесть коронок. Обрыв коронок часто происходил вместе с расширителями.

В тех случаях, когда проходка скважины была безаварийной, происходил либо «нормальный» износ коронки (идеальный вариант ее работы), либо «ненормальный».

При соблюдении проектных параметров режимов бурения должен происходить нормальный полный износ коронки (рис. 1), когда матрица изношена на всю глубину импрегнированного слоя, а наружный и внутренний диаметры в пределах допустимых отклонений. При несоблюдении проектных режимов бурения коронка может быть подвержена таким типам износа, как износ матрицы по наружному диаметру, износ матрицы по внутреннему диаметру, прижог, чрезмерное обнажение алмазов, заполирование алмазов, фаска по наружному диаметру, фаска по внутреннему диаметру, разрушение промывочных окон; в этом случае повышается вероятность возникновения аварий.

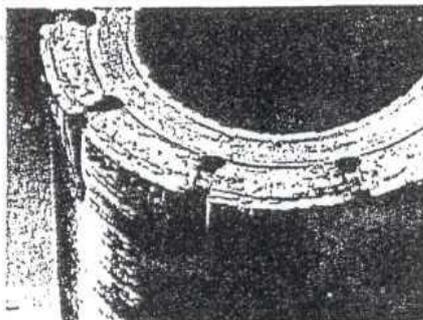


Рис. 1. Нормальный полный износ коронки

Оценивая существующее положение дел в области отработки алмазного инструмента, был проделан анализ отработки алмазных коронок и сделаны соответствующие выводы.

Одной из выявленных причин, влияющих на успешную работу алмазных коронок является соответствие фактической технологии бурения проектной. Несоответствие может происходить из-за принятия ошибочных решений бурильщиком или некачественного исполнения технологии бурения. Так было выявлено, что не все бурильщики соблюдали технологию бурения, допускали ошибки. Поэтому здесь большое значение имеет человеческий фактор, то есть деятельность оператора (бурильщика).

Например, причиной встречающегося заполирования алмазов являлась недостаточная нагрузка на коронку относительно частоты вращения, причиной интенсивного износа коронок являлось недостаточное количество промывочной жидкости (20-25 вместо 30 л/мин при бурении коронками диаметром 59 мм) и т.д. Поэтому при бурении таких массивов пород, сложенных твердыми пластами (имеющих IX – X категорию по буримости), нельзя допускать снижения расхода промывочной жидкости. Для коронок Ø59 мм рационален расход промывочной жидкости 30 л/мин. В любом случае, увеличение расхода промывочной жидкости не приведет к осложнениям при бурении, поскольку интервалов поглощений для таких массивов горных пород не предвидится.

В чем же причины возникавших аварийных ситуаций? Одной из основных причин являлось низкое качество инструмента – некачественные матрицы, что приводило к преждевременному износу коронок и расширителей, а в некоторых случаях и к обрыву коронок.

Все отработанные коронки были разделены по типу износа на четыре группы (табл. 2).

Таблица 2

Доля типа износа от общего числа алмазных коронок Ø 59 и Ø 76 мм

Вид износа	Число коронок			
	Ø76 мм		Ø59 мм	
	шт	%	шт	%
Нормальный	–	–	26	72,2
Интенсивный	14	63,4	–	–
Износ и обрыв	8	36,6	6	16,6
Сужение по наружному диаметру	–	–	4	11,2
Итого	22	100	36	100

Из полученных данных о доли типа износа от общего числа алмазных коронок Ø 59 и Ø 76 мм видно, что ни одна коронка диаметром 76 мм не была подвержена нормальному износу, а среди коронок диаметром 59 мм 72,2 % коронок нормально изнашивались.

Таким образом, оптимизация отработки алмазного инструмента должна заключаться в проведении документального (учета отработки алмазного инструмента) и аналитического (анализа отработки алмазного инструмента) отчета.

Учет отработки алмазного инструмента позволяет «проследить» за каждой коронкой или расширителем, поскольку в ведомость вносится номер инструмента, проходка на каждую коронку (расширитель), категория пород по буримости и вид износа алмазного инструмента с пояснением его причин.

Проведение анализа позволяет с достоверностью выявлять причины аварийных ситуаций, случаи несоблюдения технологии бурения, оправданность существующей технологии бурения и, в случае необходимости, принять меры к ее совершенствованию.

Строгая отчетность и ответственность при решении производственных задач позволит упростить работу при следующих заказах бурового инструмента, сделать выводы о его эффективности, снизить, в конечном итоге, стоимость 1 м бурения.

Для повышения эффективности алмазного бурения в условиях месторождения «Дукат» предлагаются следующие организационные мероприятия:

- обучение бурового персонала правильной технологии бурения,
- повышение ответственности бурильщиков за соблюдение технологии бурения,
- премирование бригад, работающих без аварий,
- внедрение более совершенного, качественного алмазного инструмента.

При реализации этих мероприятий ожидается:

- повышение механической скорости бурения за счет правильной технологии бурения,
- снижение затрат на бурение за счет уменьшения расхода алмазов на 1 м скважины, то есть снижение стоимости 1 м бурения.

Вариантом замены алмазного инструмента после отработки имеющегося в работе (фирмы «НОВИС») может быть зарубежный алмазный инструмент (фирм Борт-Лонгир, Атлас-Копко и др.) и отечественный (например, алмазный инструмент предприятия ТулНИГП, г.Тула).

Производственные испытания алмазных коронок ТулНИГП, изготовленных по новым технологиям, показали, что они по эффективности значительно превосходят инструмент других отечественных производителей, а также инструмент известных зарубежных фирм.

Продукция «Коронки алмазные буровые» предприятия ТулНИГП на IV международном салоне инноваций и инвестиций, проходившем в феврале 2004 года, удостоена серебряной медали. Это позволяет отдать предпочтение отечественному производителю алмазного инструмента, способного довольно успешно конкурировать с зарубежными производителями.

БУРОВОЙ СНАРЯД С ВЫНОСОМ КЕРНОПРИЕМНИКА ПОТОКОМ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ **И.Т. Гарипов**

Научный руководитель профессор С.Я. Рябчиков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Бурение скважин снарядами со съёмным керноприемником (ССК) позволяет получать пробы полезных ископаемых или образцы пород без подъема самого снаряда на поверхность. При бурении коронками, которые могут проходить значительные интервалы (сотни метров) без заметного износа, применение съёмной керноприемной трубы дает возможность сократить число подъемов бурового снаряда для извлечения керна после заполнения керноприемника. Это осуществляется только подъемом керноприемника специальным устройством, спускаемым и поднимаемым по трубам на канате с достаточно высокой скоростью с помощью специальной лебедки. В глубоких скважинах этот процесс отнимает значительно меньше времени, чем подъем и спуск всего бурового снаряда, что дает возможность существенно повысить производительность труда при бурении с отбором керна.

В настоящее время извлечение керноприемника из скважины осуществляется методом подъема на тросе специальной лебедкой, с помощью ловителя – овершота. При этом происходит наибольшее количество аварий, связанных, в первую очередь, с обрывом троса.

Для устранения этого недостатка предлагается новая технология извлечения керноприемника из скважины, основанная на гидротранспорте керноприемной трубы потоком промывочной жидкости.

Главным элементом данной конструкции является поршень (рис. 1), обратный клапан которого обеспечивает беспрепятственное прохождение очистного агента при промывке скважины и бурении (прямая схема циркуляции), а также надежно перекрывает канал при подъеме колонковой трубы на поверхность при обратной схеме циркуляции.

Поршень присоединяется к механизму блокирования керноприемника вместо стандартной головки, как показано на рис. 2.

Корпус поршня 2 представляет собой цилиндр с внутренним осевым отверстием А с резьбой. Кольцевой выступ 3 обеспечивает плотное прилегание поршня к внутренней поверхности бурильных труб и предотвращает его перекокс. Для более плотного прилегания поршня к внутренней поверхности бурильных труб в кольцевом выступе 3 имеются две радиальные проточки для установки уплотнительных колец 5. Выше и ниже выступа в корпусе поршня выполнены наклонные каналы Б и В, сообщающие внутреннюю полость поршня А с пространством над выступом и под ним. Между каналами Б и В внутри корпуса устанавливается калиброванная втулка 4 с коническим седлом I для размещения шарика-клапана 7 в режиме подъема керноприемника (позиция 7, а). Снизу в поршень вворачивается переходник 6, в нижней части которого имеется крепежный узел для установки поршня в гильзу механизма блокирования керноприемника. В переходнике выполнена расточка II под шарик-клапан в режиме бурения. Сверху на поршне закрепляется стандартная головка съёмного керноприемника 1, за которую можно извлечь керноприемник при помощи лебедки в случае отказа насоса.

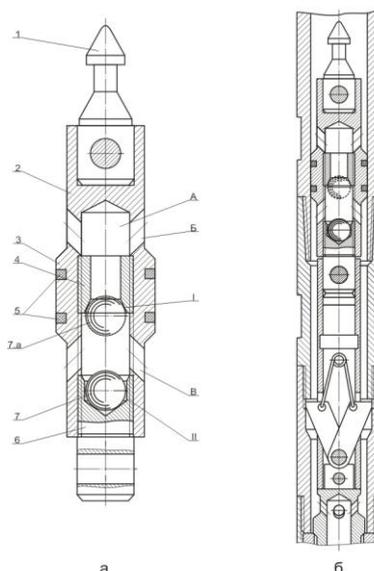


Рис. 1. Поршень с обратным клапаном:

а – общий вид: 1 – головка керноприемника, 2 – корпус, 3 – кольцевой выступ, 4 – калиброванная втулка, 5 – уплотнительные кольца, 6 – переходник, 7 – шарик-клапан; б – клапан в сборе со снарядами

Шарик-клапан 7 выполняется из полимеров малой удельной массы для того, чтобы он обеспечивал высокую плавучесть в промывочных жидкостях любой плотности, применяемых при бурении.

Для обеспечения гидротранспорта керноприемной трубы предполагается применение, как прямой схемы циркуляции очистного агента (через колонну бурильных труб), так и обратной – по межтрубному пространству.

Первая схема циркуляции применяется непосредственно в процессе бурения и при промывке скважины, а также при доставке керноприемника к забою и постановке в рабочее положение.

Обратная циркуляция должна применяться только для извлечения керноприемника на поверхность.

Для обеспечения двух переменных схем циркуляции очистного агента предполагается установка на устье скважины превентора, имеющего герметизирующее устройство, а также дополнительный канал, обеспечивающий поступление очистного агента в затрубное пространство.

При спуске керноприемника очистной агент подается в скважину через сальник-вертлюг и колонну бурильных труб. Далее он поступает через окна Б внутрь поршня, проходит через втулку 4 и, отталкивая шарик-клапан 7 в расточку II, выходит через окна В.

Для досылания керноприемника необходимо повысить количество очистного агента, подаваемого в скважину, в результате чего образуется избыточное давление на поршень сверху (в виду ограниченной пропускной способности отверстия во втулке 4) и керноприемник начнет перемещаться вниз до посадки на опорный узел. В данном режиме работы поршня превентор открыт, и очистной агент беспрепятственно удаляется из скважины.

При подъеме керноприемника включается обратная схема циркуляции очистного агента: превентор закрывается, герметизируя скважину; очистной агент поступает в скважину через канал превентора, проходит по затрубному пространству и давит на поршень снизу. Поршень в данном случае работает следующим образом. При прекращении промывки забоя шарик-клапан 7 всплывает (позиция 7, рис.2) и, садясь в седло I, перекрывает канал в муфте 4. При нарастании давления снизу поршень начинает передвигаться вверх, увлекает за собой гильзу механизма блокирования, которая в свою очередь раскрепляет защелки. Керноприемник освобождается и поднимается вверх (рис. 2, б), где головку керноприемника закрепляют к тросу лебедки и керноприемник извлекают из колонны бурильных труб.

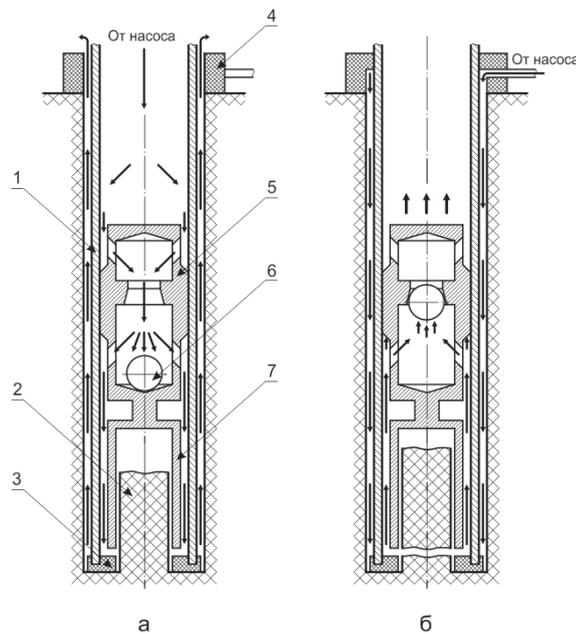


Рис. 2. Схема циркуляции очистного агента:
а – при бурении скважин: 1 – колонковая труба, 2 – кер, 3 – алмазная коронка, 4 – пружинный клапан, 5 – поршень, 6 – шарик-клапан, 7 – керноприемная труба; б – позиция клапана при подъеме керноприемной трубы из скважины

УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА РАБОТЫ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН ЗА СЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ

И.В. Доровских, В.В. Саляев, А.Т. Жубанов

Научный руководитель доцент В.В. Живаева

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Проблема обеспечения герметичности межколонного пространства скважин для нефтяных и газовых месторождений особенно актуальна. Это вызвано тем, что пластовый флюид таких месторождений часто содержит агрессивные компоненты - сероводород, угольную кислоту и некачественное разобщение пластов, их содержащих, становится причиной осложнений в период эксплуатации скважин и приводит к преждевременному ремонту скважин.

Появление в межколонном пространстве флюида со значительным содержанием коррозионно-активных компонентов (H_2S и CO_2) приводит к коррозионному разрушению обсадных труб, тампонажного материала, т.е. создается серьезная экологическая угроза, которая проявляется в загрязнении вышележащих пластов с питьевой и технической водой и устьевых выделениях сероводорода в атмосферу.

Для обеспечения экологически безопасных условий эксплуатации скважин необходимо предупредить и ограничить интенсивность межколонных перетоков флюида путем совершенствования технологий изоляции пластов друг от друга, повысить качество и коррозионную стойкость тампонажных материалов, гарантирующих невозможность фильтрации флюида через цементный камень и по зоне контакта «камень-обсадная труба», что способствует увеличению межремонтного периода и исключает необходимость частой постановки скважины на ремонт по поводу ликвидации межколонных флюидопроявлений.

Научные и инженерные проблемы разобщения сероводородсодержащих пластов детально разрабатывались и продолжают разрабатываться в настоящее время [1, 2, 3, 4]. Несмотря на огромный объем проделанных теоретических и экспериментальных исследований, решение проблемы в этом направлении нельзя признать законченной. Не рассматривается вопрос изменения объема цементного камня в результате высокой фильтрации тампонажных суспензий и соответствие тампонажного материала геологическому строению цементируемого интервала.

Для создания турбулентного режима течения и обеспечения наиболее полного вытеснения бурового раствора разработаны рецептуры тампонажных суспензий, подвижность которых обеспечивается применением различных пластификаторов - гуматов, лигнинов, комплексных фосфатов, суперпластификаторов (например, С-3), смолы СФ-010, НТФ и др. Реагенты-пластификаторы обеспечивают высокую подвижность цементной суспензии, но без наличия в системе стабилизирующих добавок теряют седиментационную устойчивость.

Для снижения степени фильтрации тампонажных суспензий применяются водорастворимые полимеры и поверхностно-активные вещества: сульфозфирцеллюлоза, поливинилацетат, КМЦ, многоатомные спирты.

Для снижения риска коррозионного разрушения тампонажного камня под воздействием агрессивных сред (сероводорода, угольной кислоты, полиминеральных вод) известно применение специальных видов цементов марок ШПЦС, НКИ и др. Анализ работ и собственные исследования показали, что практически исчерпаны возможности регулирования названных выше свойств цементного камня только за счет обработки органическими реагентами или солями одновалентных мегаллов.

Поэтому для снижения проницаемости цементного камня и повышения его адгезионных свойств к металлу и упрочнению контакта со стенкой скважины ученые прибегли к методу химического конденсирования микродисперсных частиц (по природе отличных от портландцемента). Это достигается добавкой в цементный раствор определенного

количества солей двух- или поливалентных металлов совместно с органическими реагентами-стабилизаторами и замедлителями роста размеров образовавшихся частиц.

Ранее метод конденсирования при цементировании обстоятельно исследован применительно к «подвижным» цементным растворам. Управление процессом конденсирования, сочетая его с обработкой органическими реагентами, позволяет эффективно регулировать структурно-механические и реологические свойства и сроки схватывания особенно при высоких температурах. Суффозионные свойства цементного раствора, от которых зависит падение давления на забой в начале твердения («скелетообразования») цементного раствора в скважине, также улучшаются за счет возникновения конденсируемых частиц. Этот процесс определяет во времени образование конденсационно-кристаллизационной структуры, уменьшающей поровое пространство и проницаемость «цементного теста».

В настоящее время сформулированы основные принципы повышения седиментационной стойкости тампонажных растворов, которые заключаются в следующем:

- уменьшение плотности твердой составляющей или повышение плотности жидкости затворения;
- снижение количества свободной жидкости затворения за счет снижения водотвердого отношения и применения реагентов - пластификаторов;
- повышение дисперсности твердой фазы;
- сокращение до возможного минимума сроков схватывания тампонажного раствора;
- структурирование жидкости затворения.

Нами предложена и разработана технология цементирования с использованием комплексного реагента, названного РДН-У (реагент для добычи нефти унифицированный). Комплексность заключается в том, что РДН-У представляет собой концентрированный водный раствор натриевых солей органических кислот, вступающих в реакцию обменного разложения с осаждением органо-минеральных соединений с ионами кальция и другими компонентами цементного раствора. РДН-У обладает поверхностно-активными свойствами и за счет осажденных частиц усиливает адгезию в системе «цементный камень - обсадная труба», уплотняет контакт с породами и снижает водоотдачу цементной суспензии за счет образования фильтрационной корки на проницаемых породах. Разработанный материал исследовался в присутствии реагентов - модификаторов и их комплексов различной химической природы в процессе гидратации и под воздействием агрессивной среды.

Были изучены процессы седиментационной устойчивости тампонажных суспензий в различных дисперсионных средах и рассчитан фракционный состав частиц цемента в них. Созданы новые тампонажные суспензии, имеющие минимальную степень фильтрации с сохранением реологических свойств и высоких механических характеристик сформированного камня.

Нами созданы рецептуры седиментационно устойчивых тампонажных суспензий с минимальными значениями степени фильтрации. Разработаны комплексные реагенты для модификации свойств тампонажных суспензий, в которых в оптимальных соотношениях подобраны понизитель водоотдачи и пластификатор. Комплексный реагент предназначен для применения в широком диапазоне температур: от 20 до 90 °С.

Применение разработанных комплексов не предполагает изменение (усложнение) технологии приготовления и доставки тампонажных суспензий в скважину, что играет немаловажную роль для полномасштабного внедрения разработанных составов как для вновь вводимых скважин, так и для ремонтных.

Литература

1. Исследование процесса взаимодействия новолачной смолы с тампонажным цементом / В.П. Белов, В.И.Беляев, С.А.Волоснов, Р.А.Бакулин // Изв. вузов. Нефть и газ. – 1977. – № 8.
2. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. – М.: Недра, 1990. – 409 с.
3. Данюшевский В.С. Справочное руководство по тампонажным материалам / В.С.Данюшевский, Р.М.Алиев, И.Ф.Толстых. – М.: Недра, 1987. – 373 с.
4. Крылов Д.А. Некоторые причины неплотного контакта цементного камня с обсадными трубами // Нефтяная и газовая промышленность. – Сер. Строительство скважин на суше и на море: – 1993. – № 5.– С. 10 – 12.

ВЛИЯНИЕ ЖИДКОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

С.А. Лемешов, А.Ю. Широков

Научный руководитель профессор В.Д. Евсеев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Целью нашей работы было изучение влияния воды на разрушение горной породы при воздействии на нее динамических нагрузок. Динамические нагрузки на горную породу забоя скважины присутствуют при использовании любого породоразрушающего инструмента. С целью моделирования ситуации на забое скважины использовался прибор ПОК (прибор для определения коэффициента крепости горных пород). Этот прибор давно используется на кафедрах бурения скважин для определения коэффициента крепости горных пород при проведении занятий по дисциплине «Разрушение горных пород при бурении». Методика проведения эксперимента предполагает, что используемая горная порода является сухой. Большой интерес для нас представлял следующий вопрос: можно ли проводить на данном приборе исследование по выявлению влияния жидкости на изменение коэффициента крепости. Для испытания мы взяли мелко-зернистый песчаник.

В ходе опыта горная порода дробилась на кусочки с линейным размером $1,5 \cdot 10^{-3}$ м. На один опыт тратилось 25 таких кусочков. Опыт состоял из пяти испытаний, во время каждого из них динамической нагрузке подвергалось по 5 кусочков горной породы. Грузом массой 2,4 кг наносилось 12 ударов по кусочкам породы. Затем продукты разрушения горной породы, полученные во всех пяти испытаниях, просеивались через сито с размером ячеек $5 \cdot 10^{-4} \times 5 \cdot 10^{-4}$ м. При помощи объемомера определялась высота столба мелкодисперсных фракций.

Нами было произведено 6 опытов, при которых кусочки горной породы подвергались динамической нагрузке в сухом состоянии. С помощью методов математической статистики определили наличие грубой ошибки при измерениях.

Следующие кусочки горной породы подвергались динамической нагрузке в присутствии воды: по 50 мл технической воды наливалось в нижнюю часть прибора ПОК (стакан), в котором находились кусочки горной породы. Далее раздробленная в присутствии воды горная порода помещалась вместе с водой в специальную емкость, в которой находилась до полного испарения воды. Только после этого определялась высота столба мелкой фракции в объемемере. Аналогично был проведен эксперимент с использованием водного раствора хлористого натрия (10 гр/л).

Результаты исследования приведены в таблице. Коэффициент крепости горной породы при разрушении в присутствии воды (6,93) снизился на 16 % по сравнению с результатом, полученным при сухом дроблении (8,26). Использование водного раствора хлористого натрия уменьшило коэффициент крепости горной породы, полученный при испытании в сухом состоянии, уже на 22 % (6,45), но всего на 7 % в сравнении с результатом, полученным при дроблении горной породы в присутствии воды.

Полученные результаты показывают, что вода существенно облегчает развитие разрушения горной породы при динамическом нагружении и этим нужно пользоваться для интенсификации процесса разрушения. Но необходимо учитывать и следующее: в реальных условиях разрушения горной породы на забое скважины при бурении горная порода никогда не бывает сухой (даже когда для удаления продуктов разрушения применяется газ). Это означает, что нельзя, очевидно, надеяться на то, что добавки реагентов в буровой раствор на водной основе, смогут способствовать значительному снижению прочностных свойств горной породы.

Проведенное исследование показало, что при проведении учебных занятий можно расширить использование прибора ПОК: проводить динамическое разрушение в присутствии жидкости.

Таблица

Результаты опытов

Условия проведения опыта	№ опыта						Среднее Значение
	1	2	3	4	5	6	
В сухом виде	14,1	14	14	15	15	15	14,516
В присутствии воды	17,3	18	16	17,5	18,1	17	17,316
В водном растворе соли	18,5	21	19	16	19,5	18	18,6

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ КОНДУКТОРОВ В СКВАЖИНАХ, БУРЯЩИХСЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

В.А. Мялицин, Ю.С. Угольников

Научный руководитель профессор Г.М. Толкачев

Пермский государственный технический университет, г. Пермь, Россия

Для цементирования кондукторов в скважинах на территории Верхнекамского месторождения калийно-магневых солей (ВКМКС) с целью разобщения обводненных горных пород надсолевой части разреза от безводных пород водозащитной толщи (ВЗТ) в условиях низких положительных температур (+5...+8 °С) до 1997 года использовался тампонажный материал на основе тампонажного портландцемента (ПЦТ) с добавкой только CaCl₂. Ввиду того, что данный состав не обеспечивал необходимую степень изоляции соляной толщи от вод надсолевого комплекса, был разработан и в настоящее время успешно используется расширяющийся тампонажный материал (РПЦТМ). В составе этого материала в качестве основы используется тампонажный портландцемент (ПЦТ по ГОСТ 1581–96), а в качестве расширяющей добавки – смесь гипсо-глиноземистого расширяющегося цемента (ГГРЦ по ГОСТ 11052–74) и порошка магнетитового каустического (ПМК по ГОСТ 1216–87). В качестве реагента, ускоряющего ход процесса структурообразования и твердения РПЦТМ, используется техническая каменная соль (ТУ 9192-069-00209527 – 96) в количестве 4 % к массе сухой смеси.

С использованием РПЦТМ в период с 1997 по 2005 гг. на территории ВКМКС были зацементированы кондукторы в 98 скважинах.

Качество их цементирования оценивается по результатам проведения геофизических исследований (АКЦ + ПВП) и гидравлических испытаний – опрессовки обсадной колонны (ОК) и цементного камня за ее башмаком.

Результаты выполненных с использованием РПЦТМ цементировочных работ в сравнении с результатами цементирования кондукторов с использованием ПЦТ П-50 с добавкой только ускорителя схватывания CaCl₂ (ПЦТМ) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты цементирования кондукторов в скважинах Уньвинского, Юрчукского, Сибирского и Шершневского нефтяных месторождений в 1995 – 2005 гг. с использованием различных тампонажных составов

Месторождение	Временной период, годы	Тампонажный раствор			
		ПЦТМ		РПЦТМ	
		Количество скважин	Доля сплошного контакта цементного камня с породой и ОК, %	Количество скважин	Доля сплошного контакта цементного камня с породой и ОК, %
Уньвинское	1995 – 2003	36	33,1	8	56,4
Юрчукское	1995 – 1999	11	7,3	3	45,1

Сибирское	1996 – 2005	22	46,2	49	59,6
Шершневское	2003 – 2005	-	-	38	46,6

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований РПЦТМ на основе портландцементов типа ПЦТ-I-50 и ПЦТ-II-50

Свойства и состав тампонажного материала РПЦТМ	Используемые типы ПЦТ	
	ПЦТ-I-50	ПЦТ-II-50
ПЦТ, г	1600	
ПМК-83, г	200	
ГГРЦ, г	200	
Раствор ТКС($\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$), см^3	1000	1000
Ж:Т	0,5	0,5
Плотность тампонажного раствора, кг/м^3	1890	1860
Водоотделение, см^3	0	0
Растекаемость, мм	220	195
Начальная консистенция, УЕК	5,0	7,0
Начало /конец схватывания, час-мин	5-30/5-50	6-10/6-50
Увеличение объема (через 3 суток), %	1,00	1,03
Прочность цементного камня при изгибе, МПа		
- через 2 суток ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	6,73	4,86
- через 3 суток ($T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$)	4,98	3,57
Прочность сцепления цементного камня с внешней огибающей поверхностью, МПа	1,50	0,93

Для выхода на новые нефтяные месторождения, а также для продолжения разработки ранее открытых месторождений на территории ВКМКС необходимо повысить качество цементирования кондукторов.

Одним из направлений, позволяющих повысить качество крепи скважины в интервале кондуктора, является совершенствование составов РПЦТМ. Это может быть осуществлено за счет выбора базового вяжущего вещества – тампонажного портландцемента. Дело в том, что для приготовления тампонажных растворов в Пермской области в последнее время используется портландцемент марки ПЦТ-II-50. Размещаемый за кондуктором тампонажный раствор на основе такого ПЦТ в условиях низких положительных температур за период ОЗЦ формирует цементный камень, имеющий низкую прочность. С точки зрения повышения качества раствора РПЦТМ и формирующегося на его основе цементного камня (снижение реологических показателей, повышение значений прочностных, адгезионных и деформационных характеристик) большой практический интерес представляет использование для его получения портландцемента ПЦТ-I-50 (таблица 2).

Известно, что существующий метод опрессовки зацементированных ОК, проводимый после ОЗЦ, может негативно влиять на качество их цементирования. Создание внутреннего избыточного давления может привести к деформациям как ОК, так и цементного камня, формирующегося в затрубном пространстве, а также нарушить контактные связи цементного камня со стенками скважины и обсадной колонной. Поэтому предлагается проводить испытание ОК на герметичность сразу после посадки верхней продавочной пробки на обратный клапан, либо совсем не проводить испытание ОК на герметичность, что не противоречит «Правилам безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (ПБ 08–624–03).

Так как бурение интервала под кондуктор осуществляется на глинистом растворе, то на стенках скважины образуется глинистая корка, препятствующая формированию плотного контакта цементного камня с горной породой и обсадной колонной. Для удаления глинистой корки и высоковязкого структурированного раствора из каверн непосредственно перед цементированием необходимо заменить глинистый раствор технической водой и произвести промывку в течение 3-4 часов. Данный технологический прием позволяет не только качественно очистить стенку скважины и наружную поверхность обсадной колонны от глинистой корки, но и дополнительно пропитать горные породы водой, что обеспечит необходимую подпитку водой при формировании расширяющегося цементного камня РПЦТМ.

Перечисленные предложения по совершенствованию технологии цементирования кондукторов в январе-феврале 2006 г. реализованы в 4 скважинах. Результаты геофизических исследований в них свидетельствуют о существенном повышении качества цементирования кондукторов.

ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Н.А. Пермяков

Научный руководитель доцент А.В. Карпиков

Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия

Технологические процессы связанные с механическим упрочнением рабочей поверхности бурительных труб и вызывающие повышение их прочности, являются перспективными для современного производства. Широкое применение получает один из методов поверхностного деформационного упрочнения бурительных труб - наклеп дробью. Многочисленные эксперименты и заводская практика доказали высокую эффективность упрочнения дробью разнообразных деталей, изготовленных из черных и цветных металлов. Особенно эффективно применение деформационного упрочнения дробью сказалось на деталях с поверхностными концентраторами напряжений, работающими при циклических нагрузках.

Сущность процесса наклёпа дробью заключается в том, что поверхность детали подвергается холодной пластической деформации посредством ударного импульса чугунной или стальной дробью диаметром от 0.3 до 2.5 мм. Положительный эффект поверхностного деформационного упрочнения сталей объясняется собственным упрочнением металла в результате пластической деформации и возбуждением сжимающих напряжений в наклёпанных поверхностных слоях. В результате поверхностного пластического деформирования упрочняется поверхностный слой, повышается износостойкость к коррозионным воздействиям и т.д. Во многих случаях применением ППД удаётся повысить запасы прочности деталей, работающих при переменных нагрузках, в 1.5 – 3 раза и увеличить срок службы деталей в несколько раз.

Рассматривая соударение дроби с поверхностью обрабатываемых бурильных труб, можно видеть, что оно носит упруго-пластический характер. Процесс упруго-пластического нагружения при ударе когда $\sigma > \sigma_m$, можно записать в виде формулы:

$$A = a_1 + a_2, \quad (1)$$

где a – глубина местного упруго-пластического смятия; a_1 – глубина смятия в области упругих деформаций; a_2 – глубина смятия в области пластических деформаций; σ – интенсивность напряжений, вызываемых ударом; σ_m – предел текучести материала в зоне силового контакта.

При исследовании процесса деформационного упрочнения дробью прежде всего интересует величина максимальной динамической силы, вызывающей пластическую деформацию в зоне силового о контакта.

$$P = Nd_1 n_c, \quad (2)$$

где P – величина приложенной динамической нагрузки; d_1 – диаметр отпечатка; N , n_c – коэффициенты, характеризующие свойства материала; для закалённых сталей $n_c = 2$.

Явления, происходящие в диффузионных слоях при деформационном упрочнении дробью, обуславливаются напряжениями, вызываемыми ударными импульсами дроби. В тех случаях, когда величина этих напряжений будет превосходить сопротивление пластической деформации упрочняемого металла, в слое будут происходить интенсивные фазовые превращения и могут появляться участки всестороннего сжатия. В тех случаях, когда величина приложенных напряжений будет выше прочности материала и резервы пластичности материала в процессе наклёпа будут исчерпаны, наклёп дробью может приводить к сильному охрупчиванию поверхностного слоя. Исходя из вышеизложенного, можно записать:

$$\sigma_m \leq \sigma_{np} \leq \sigma_s, \quad (3)$$

где σ_m – предел текучести материала поверхностного слоя обрабатываемой детали в зоне силового контакта; σ_s – предел прочности материала диффузионного слоя обрабатываемой детали в зоне силового контакта; σ_{np} – приведённые напряжения, создаваемые ударным импульсом дроби.

Степень покрытия S можно оценить соотношением:

$$S = \frac{F_{омн}}{F_{заг}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $F_{омн}$ – суммарная площадь отпечатка, мм²; $F_{заг}$ – обрабатываемая поверхность заготовки, мм².

Глубина наклёпанного слоя δ при дробеударной обработке зависит от следующих параметров:

$$\delta = K \cdot \frac{d_{dp} \cdot v_{dp} \cdot \sin a}{\sqrt{H_m}}, \quad (5)$$

где K – коэффициент пропорциональности; v_{dp} – скорость дроби, м/с; d_{dp} – диаметр дроби, мм; H_m – динамическая твёрдость по Майеру.

В свою очередь H_m равно:

$$H_m = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_o^2}, \quad (6)$$

где P – динамическая нагрузка при внедрении шарика, Н; d_o – диаметр отпечатка дробинки, мм.

Ранее проведённые на базе буровой лаборатории кафедры ТiТР МПИ ИрГТУ исследования влияния ППД на характеристики бурильных труб позволили сделать выводы о наиболее эффективных режимах обработки. Данный факт позволил ограничиться при проведении экспериментов теми параметрами и степенями обработки, которые имеют наибольшее практическое применение. Так, упрочнение поверхности трубы осуществлялось дробью диаметром 3 мм при скорости $V = 80$ м/с со степенью покрытия 60, 70, 80, 90 %.

Деформационное упрочнение дробью увеличивает сопротивление разрушению при ударно-циклических нагрузках стали на 30 - 35 %; при изгибающих циклических нагрузках - 10 - 50 % (в зависимости от исходной структуры диффузионного слоя) и расширяет границы периода до появления усталостной трещины и периода её развития. Степень деформационного упрочнения диффузионного слоя представляет интегральную величину, складывающуюся из упрочнения, связанного с фазовыми превращениями, и собственного упрочнения структур, и составляет 1,1 - 1,3.

Литература

1. Буглов Н.А., Карпиков А.В., Москвитин М.А., Гриб П.С. Основные требования к дробеударной поверхностно-пластической деформации материала бурильных труб - в кн.: «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Сборник избранных трудов НТК, выпуск №3 /Иркутский государственный технический университет». – Иркутск, 2003.
2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение. 1987, 328 с.

ИМПУЛЬСНЫЕ ТОКИ С ЗАБОЯ СКВАЖИНЫ – ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ О СВОЙСТВАХ ГОРНЫХ ПОРОД

М.В. Петухов, К.В. Шахматов

Научный руководитель В.Д. Евсеев

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Предлагается для получения информации с забоя бурящейся скважины о характере разрушения и составе горных пород применить методы, основанные на регистрации электромагнитных сигналов. Отмечено, что при разрушении горной породы в присутствии промывочной жидкости зарегистрировать эти сигналы не удаётся из-за их экранировки и быстрой релаксации электрических зарядов, образующихся на свежесформированных поверхностях. Предложена методика, позволяющая зафиксировать релаксационные токи, возникающие при бурении и резании горных пород у границы раздела «горная порода – режущий инструмент», замыкая их на внешний электрический контур «горная порода – режущий инструмент – станок – горная порода». Высказано предположение о возможности применения данного метода для контроля геологического разреза и процессов разрушения горных пород при бурении скважин.

Электрические явления при разрушении

Исследование электризации, происходящей при разрушении диэлектрических минералов и горных пород, началось не так давно. К настоящему времени установлено, что развитие трещин нормального отрыва при разрушении неорганических диэлектриков, какими являются основные породообразующие минералы, сопровождается пространственным разделением противоположных по знаку электрических зарядов; на свежесформированной поверхности возникает электрический заряд плотностью q_0 ; наблюдаются следующие электрофизические явления:

- а) эмиссия электронов высоких энергий (ЭВЭ) или, по-другому, эмиссия быстрых электронов;
- б) электромагнитная эмиссия (ЭМЭ).

Электрические явления и механическая прочность

В [8] экспериментально показано, что работа расщепления кристалла слюды в различных внешних условиях определяется, в основном, электрическими силами взаимодействия разделяемых поверхностей трещины нормального отрыва.

На наличие тесной связи между прочностью диэлектрика и величиной электрического заряда q_0 , возникающего на свежей диэлектрической поверхности, указывается в работах [3,4]: осуществлено модифицирование модели эффекта Ребиндера с учетом явления «электризация при разрушении». Появление разноименных электрических зарядов на сторонах растущей трещины нормального отрыва приводит к возникновению дополнительного силового дальнедействующего взаимодействия противоположных сторон трещины, росту энергии образования единицы площади свежей поверхности до величины $\gamma_{эф} = \gamma_0 + \gamma_n$, где γ_0 – удельная свободная поверхностная энергия разрушаемого тела, γ_n – механические потери энергии электростатической природы, величина которых зависит от q_0 . Модифицированное выражение А.А. Гриффита для оценки трещиностойкости неорганического диэлектрика, имеющего трещину длиной L , с учетом механических потерь энергии электростатической природы принимает вид:

$$\sigma = \{4G [\Gamma + q_0^2 \exp(-2t/\tau)h/\epsilon\epsilon_0]\}^{0.5} / (\pi L)^{0.5},$$

где G – модуль Юнга, 2Γ – работа квазиравновесного разрушения, t – время действия нагрузки, τ – время релаксации электрических зарядов в полости трещины, h – расстояние между сторонами трещины, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды в полости трещины, ϵ_0 – электрическая постоянная.

Из последнего выражения следует, что трещиностойкость нагружаемого диэлектрика зависит не только от длины первичного дефекта L (как отмечается в модели А.А. Гриффита), но и пропорциональна величине заряда q_0 . При разрушении диэлектриков в одинаковых условиях и при одинаковой величине первичного дефекта трещиностойкость диэлектриков будет возрастать с увеличением q_0 .

В силу того, что прочность диэлектрика при его механическом нагружении σ и интенсивность эмиссии быстрых электронов J с его ювенильной поверхности зависят от одной величины – плотности электрических зарядов q_0 , то должна наблюдаться симбатность изменения σ и J при одинаковой подготовке образцов к испытанию.

Такая зависимость экспериментально была зафиксирована В.А. Кузнецовым [7]: обнаружено, что между величиной начальной интенсивности эмиссии электронов высокой энергии J_0 , измеряемой в вакууме со свежей поверхности поликристалла LiF, и прочностью этого диэлектрика σ при одноосном сжатии существует связь: J_0 и σ изменяются симбатно при изменении температуры предварительной термовакуумной обработки образцов.

Симбатность изменения величин J_0 и σ означает, что по интенсивности эмиссии электронов высокой энергии со свежесформированной поверхности можно судить о трещиностойкости диэлектрических образцов.

Внешние проявления электрических процессов

Выше отмечалось, что эмиссией электронов высоких энергий не ограничиваются комплекс электрокогезионных явлений: появление свежих поверхностей при механическом нагружении неорганических диэлектриков сопровождается и электромагнитной эмиссией.

Еще при разработке электронной теории адгезии появление электромагнитных сигналов связывалось с развитием электрогазоразрядного процесса в полости развивающейся трещины нормального отрыва. В настоящее время

возникновение электромагнитных сигналов связывается не только с развитием электрических разрядов, но и с изменением дипольного момента заряженной трещины, колебательным движением зарядов при развитии разрушения и с релаксацией этих зарядов. При любом механизме появления электромагнитной эмиссии виновником этого процесса является электрический заряд плотностью q_0 , возникающий на свежей поверхности разрушаемых диэлектрических породообразующих минералов, на свежееобразованной адгезионной поверхности.

Электромагнитная эмиссия, так же как и эмиссия электронов высокой энергии, несет информацию о величине механических потерь энергии электростатической природы, сопровождающих разрушение породообразующих диэлектрических минералов и контактов между зёрнами различных минералов, слагающих горные породы. Носителями информации о трещиностойкости твердого тела являются электромагнитные сигналы, принимаемые приемным устройством.

Связь ЭМЭ с механической прочностью тел

На связь между прочностью нагружаемых тел и количеством зафиксированных импульсов электромагнитной эмиссии впервые было обращено внимание в работе томских исследователей [2]. В этой работе образцы минералов и горных пород подвергались одноосному сжатию. Отмечается, что зарегистрированное суммарное количество импульсов электромагнитного излучения при одноосном сжатии образцов минералов убывает в ряду кварц – плагиоклаз – ортоклаз и соответствует уменьшению энергии кристаллической решетки этих минералов.

О связи между механическими свойствами горных пород и их способностью генерировать электромагнитные сигналы при механическом нагружении свидетельствуют результаты, полученные в [5]. В этом исследовании образцы горных пород подвергались одноосному сжатию с одновременной регистрацией возникающей электромагнитной эмиссии. Показано, что между суммарным числом электромагнитных импульсов и коэффициентом крепости используемых образцов горных пород имеются квадратичная корреляционная зависимость. Отмечается, что способность к генерированию электромагнитных сигналов зависит от упругопластических свойств образцов горных пород и от величины испытываемых ими механических напряжений. Больше число импульсов излучают более прочные горные породы.

На наличие связи между прочностными свойствами разрушаемых тел и параметрами ЭМЭ было обращено внимание и в работе [1]. При царапании алмазной пирамидкой образцов неорганического стекла, фтористого лития, хлористого натрия, кварца, полевого шпата, флюорита было обнаружено возрастание суммарного числа импульсов и их амплитуд с увеличением твердости испытываемых тел и возрастанием нагрузки на пирамидку.

Проведенное в [9] исследование, в котором производили одноосное сжатие кубических образцов горных пород (уголь, аргиллит, песчаник, гранит, мрамор, известняк) на гидравлическом прессе с регистрацией параметров акустической и электромагнитной эмиссий, показало, что:

- а) горные породы, имеющие различную прочность, обладают различной способностью к электромагнитной эмиссии;
- б) импульсы ЭМЭ появляются до начала разрушения образцов и достигают максимальных значений на предельном участке деформационной кривой;
- в) чем прочнее образец горной породы, тем раньше появляются импульсы электромагнитной эмиссии.

Существующая проблема

Уже в ранних исследованиях было замечено сильное влияние на интенсивность ЭМЭ при нагружении образцов влажных образцов горных пород, что связывали как со снижением механической прочности при увлажнении, так и с быстрой релаксацией зарядов двойного электрического слоя токами проводимости, а также экранировкой электромагнитных полей высокопроводящими растворами. Насыщение образцов водой и особенно солевыми растворами образцов горных пород, имеющих невысокую способность к генерированию ЭМЭ, приводило к значительному уменьшению амплитуды импульсов, изменению их частотных характеристик и даже полному исчезновению регистрируемого сигнала. Электрические токи, возникающие при разрушении, как бы остаются в “изоляции”, находясь внутри влажного электропроводящего образца горной породы, а его экранирующее действие не даёт возможности зафиксировать внешнее электромагнитное поле. Поэтому первая попытка регистрации ЭМЭ при бурении образца горной породы с промывкой оказалась неудачной [6]: ЭМЭ удалось зарегистрировать только при сухом кратковременном бурении образцов горных пород алмазной буровой головкой.

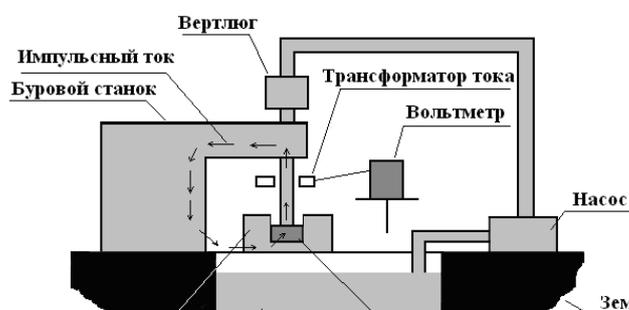
Задача исследования

Регистрация ЭМЭ при бурении и резании горных пород с промывкой

Проблема регистрации внутренних токов, возникающих при разрушении горных пород бурением и резанием с промывкой, была решена нами с использованием внешнего замкнутого электрического контура «образец горной породы – режущий инструмент – станок – образец горной породы». Импульсный электрический ток, который возникает у границы раздела «горная порода – режущий инструмент» при бурении и резании образца горной породы, замыкается через этот контур.

Решение проблемы

Методика была реализована на буровом станке СКБ-5 с алмазной буровой головкой по схеме, изображенной на рис. 1.



Разбуривался образец гранита, который, в соответствии с предыдущими исследованиями, обладает высокой способностью к генерированию ЭМЭ. Регистрацию токов проводили в диапазоне частот от 150 кГц до 1,5 МГц. Было показано, что с ростом осевой нагрузки на буровую головку эффективное значение импульсного тока сначала возрастает, а затем практически стабилизируется, что соответствует изменению эффективности разрушения горной породы.

В дальнейшем мы перешли на проведение исследования импульсных токов и при резании образцов горных пород. Регистрацию импульсных токов при резании образцов горных пород проводили на специальной установке, схема которой представлена на рис. 2.

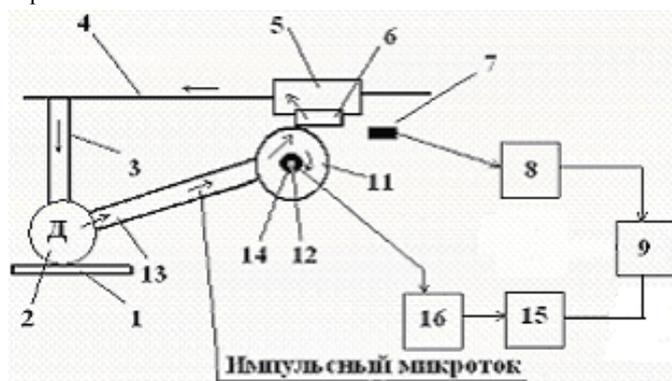


Рис. 2. Схема установки для регистрации акустических сигналов и импульсного тока при резании образцов горной породы: 1 – основание; 2 – электродвигатель; 3 – передаточный механизм подвижной каретки; 4 – направляющая; 5 – подвижная каретка; 6 – образец горной породы; 7 – микрофон; 8 – усилитель; 9 – компьютер; 11 – алмазный круг; 12 – шпиндель; 13 – передаточный механизм шпинделя; 14 – индукционный датчик; 15 – осциллограф, 16 – усилитель

Установка состоит из нагружающего блока и компьютеризированной измерительной системы. Нагружающий блок прибора включает основание – 1, электродвигатель – 2, направляющую – 4, подвижную каретку – 5 с захватом для закрепления образца горной породы, шпиндель – 12, служащий для передачи вращения алмазному кругу – 11, передаточные механизмы шпинделя – 13 и подвижной каретки – 3. Охлаждение алмазного круга и удаление шлама осуществляется промывочной жидкостью в процессе резания образца.

Измерительная система прибора состоит из персонального компьютера – 9, усилителя – 8 и датчика (микрофона – 7). Акустический сигнал принимается микрофоном – 7, усиливается и подается на вход платы акустического цифрового преобразователя, установленного в компьютере.

Для регистрации импульсного тока на шпинделе – 12, изготовленного из немагнитного металла, установлен индукционный датчик – 14 (трансформатор тока на ферритовом кольце). Напряжение на выходе индукционного датчика, наведенное импульсными токами, подается на усилитель – 16, который имеет режекторный фильтр, отсекающий помехи промышленной частоты. Далее напряжение поступает на осциллограф «Tektronix» – 15 и компьютер – 9, где производится спектрально-частотная обработка сигнала.

Были исследованы 9 различных горных пород. Для оценки ЭМЭ каждой горной породы готовили не менее 3 образцов. Часть образцов высотой 35 мм изготовили из кернов диаметром 30 мм, другие образцы готовили в виде параллелепипедов размером от 35×30×20 мм до 35×40×35 мм. При регистрации импульсного тока образцы резали алмазным кругом 100 мм на глубину 5 мм; скорость подачи составляла 2,1 мм/с, частота вращения 22,7 с⁻¹.

На рис. 3 приведены результаты обработки записей импульсных токов, возникающих при резании горных пород. Исходя из проведенного микроскопического описания исследуемых образцов горных пород и испытания образцов горной породы на прочность одноосным сжатием, можно отметить, что возникающий во внешнем контуре импульсный электрический ток зависит от состава горных пород и их прочности. Испытание на прочность одноосным сжатием проводили на испытательной машине ИП-1. Испытывали по 3 образца каждой горной породы.

Прочность образцов горных пород при испытании одноосным сжатием оказалась следующей:

Порода 2 – 26,5 МПа.
 Порода 6 – 35,5 МПа.
 Порода 7 – 128 МПа.
 Порода 8 – 104 МПа.
 Порода 9 – 143,5 МПа.

Влияние промывочной жидкости

Так как бурение скважин происходит с применением различной промывочной жидкости, были проведены исследования по влиянию промывочной жидкости на электрические импульсные токи. Испытания проводили на установке, представленной на рисунке 2.

Испытывали 4 различных промывочных жидкости:

Техническая вода.

Солевой раствор (вода + 20 % NaCl).

Водный раствор ПАВ (вода + 0,5 % ПАВ).

Глинистый раствор (вода +15 % качественной глины).

Использовались образцы горных пород в виде кернов диаметром 30 мм и длиной 35 мм и в виде параллелепипедов размером от 35×30×20 мм до 35×40×35 мм. Для оценки силы тока каждой горной породы готовили не менее 3 образцов.

Горные породы:

1. Гранит с кальцитом.
2. Гранит.
3. Мелкозернистый песчаник с кальцитовым цементом.
4. Среднезернистый песчаник с кальцитовым цементом.
5. Крупнозернистый алевролит.

В табл. представлены результаты испытаний.

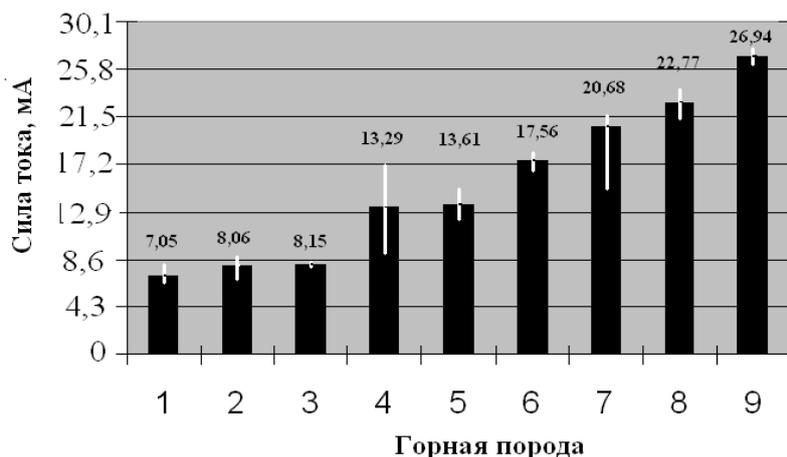


Рис. 3. Гистограмма эффективной силы импульсного тока при резании различных горных пород:
 1) переслаивание алевролита и гидрослюд; 2) крупнозернистый алевролит; 3) глина; 4) среднезернистый песчаник с высоким содержанием крупнозернистого материала, глинисто-гидрослюдистый цемент; 5) крупно-среднезернистый песчаник с кальцитовым цементом; 6) крупно-среднезернистый песчаник с кальцитовым и кварцевым цементом; 7) гранит; 8) мелкозернистый песчаник с кальцитовым цементом; 9) гранит с кальцитом в трещинах

Таблица

Зависимость силы импульсного тока от удельного электрического сопротивления промывочных жидкостей

Промывочная жидкость	Удельное электрическое сопротивление, Ом/м	Сила импульсного тока, мА				
		Горная порода 1	Горная порода 2	Горная порода 3	Горная порода 4	Горная порода 5
Солевой раствор	0,0126	42,9	31,4	30,2	21,6	20,6
Вода	7,07	26	25,5	22,5	18,5	9
Водный раствор ПАВ	5,21	24	23,5	21	12,3	8,1
Глинистый раствор	1,57	22,1	18,6	18	11,2	7,4

Выводы:

1. Зарегистрированы электрические импульсные токи при бурении и резании горных пород в присутствии промывочной жидкости.
2. Сила импульсного тока, образующегося при резании горных пород в различных промывочных жидкостях, уменьшается в следующем порядке: солевой раствор – вода – глинистый раствор – водный раствор ПАВ.
3. Уменьшение силы импульсного тока в ряду вода – глинистый раствор – водный раствор ПАВ связано со снижением прочности горных пород этими жидкостями, а также с уменьшением в этом же ряду удельного электрического сопротивления. Чем ниже удельное электрическое сопротивление промывочной жидкости, тем быстрее релаксируют электрические заряды, тем ниже сила импульсного тока, фиксируемого по данной методике.
4. Максимальное значение силы импульсного тока при резании в солевом растворе, вероятно, можно объяснить образованием электрохимического источника тока «горная порода – солевой раствор – режущий инструмент». Это подтверждается еще тем, что удельное электрическое сопротивление солевого раствора самое низкое и, соответственно, сила импульсного тока должна быть самой малой, а получается наоборот.
5. Предложенный метод регистрации ЭМЭ путём измерения импульсного тока через режущий инструмент может найти применение для контроля геологического разреза и контроля процессов разрушения горных пород при бурении скважин.

Литература

1. Воробьев А.А., Чаусов В.М., Гордеев В.Ф. Импульсное радиоизлучение при царапании некоторых диэлектрических материалов // Известия вузов. Сер. Физика. – 1977. – № 10. – С. 126 – 128.
2. Гольд Р.М., Марков Г.П., Могила П.Г., Самохвалов М.А. Импульсное электромагнитное излучение минералов и горных пород, подвергнутых механическому нагружению // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1975. – № 7. – С. 109 – 111.
3. Евсеев В.Д. Природа эффекта Ребиндера при разрушении неорганических диэлектриков и электрокогезионные явления // Известия вузов. Сер. Физика. – 1985. – № 2. – С. 29–35.
4. Евсеев В.Д. Электрические потери энергии при разрушении диэлектриков // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Физика диэлектриков», – Караганда, 8 – 10 июня 1978 – С. 87– 88.
5. Егоров П.В., Корнейчиков В.П., Корнейчикова Н.М., Поляков А.Н. К прогнозу ударопасности горных пород методом счета импульсного электромагнитного излучения // Измерение напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, 1976. – Ч. 2. – С. 112 – 114.
6. Кривошеев В.В., Нейштетер И.А., Ларин А.А., Гордеев В.Ф. Изучение электромагнитной эмиссии при бурении анизотропных пород // Сборник трудов четвертого Международного симпозиума по бурению скважин в осложненных условиях. – С-Пб, Санкт-Петербургский государственный горный институт. – 1998.
7. Кузнецов В.А. Исследования в области механической прививки полимеров на поверхности твердых минеральных тел при их разрушении: Дис. ... канд. хим. наук. – М., 1977. – 112 с.
8. Мецник М.С. Физика расщепления слюд. – Иркутск: Вост-Сиб. кн. изд., 1967. – 280 с.
9. Потураев В.Н., Булат А.Ф., Хохолов В.К. Об особенностях комплексной регистрации электромагнитного и акустического излучения при разрушении горных пород // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 308. – № 6. – С. 1351–1354.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ДОЛОТ КОМПАНИИ SMITH НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Рогожкин

Научный руководитель профессор В.Д. Евсеев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Последние 10 – 15 лет Россия стремится перейти к рыночной экономике. В связи с этим во всех отраслях производства, в том числе и нефтегазовой, возникает конкуренция. Чтобы продолжать работу предприятие должно быть конкурентоспособно. Одним из наиболее эффективных шагов в данном случае является снижение себестоимости производства. Наряду со значительным числом различных факторов немаловажную роль в себестоимости работ при бурении скважины играет выбор породоразрушающего инструмента. В связи с этим Российские компании все чаще стали использовать буровые долота иностранного производства. Нами были рассмотрены результаты работы долот компании Smith в Томской области, где они начали применяться сравнительно недавно.

В линии стандартной продукции компании Smith представлен широкий ассортимент долот с различными типоразмерами (от 100 до 660 мм), схемами промывки. В стандартной линии выпускаются долота диаметром от 3-7/8" , что соответствует примерно 100 мм, до 26" – примерно 660 мм. Среди новшеств, примененных в данной серии, стоит отметить:

- новую смазку подшипников на синтетической основе,
- систему адаптивной промывки Flex-Flo, которая позволяет выбрать режим промывки исходя из конкретных условий бурения,
- внедрение частиц карбида и алмазов в вооружение долота.

На месторождениях Томской области долота демонстрируют хорошие показатели работы. В таблице представлены результаты отработки долот.

В графе «проходка» представлена общая проходка на одно долото. Благодаря значительной проходке на долото появляется возможность на протяжении всего интервала бурения под очередную колонну (кондуктор, техническую или эксплуатационную колонну) обойтись без замены долота. Следовательно, нет спускоподъемных операций. И в конечном итоге это приводит к значительному увеличению рейсовой скорости бурения. На скважине №1 Разрывно-Моисеевской площади применение данных долот позволило вместо расчетных 41 суток пробурить скважину за 26, т.е. на 35 % быстрее. Кроме того, работа с долотами Smith дает выигрыш и в стоимости бурения. Для Казанского месторождения было проведено сравнение характеристик иностранных и отечественных долот в плане стоимости бурения. Для бурения нормативного интервала, взятого для исследования, потребовалось 15 долот компании “Волгабурмаш”, в то время как долот компании Smith было необходимо всего 1,5. Несмотря на то, что стоимость одного отечественного долота значительно ниже, итоговая стоимость работ оказалась ниже при использовании импортных долот. Причем экономия составляет около 20 %.

Обработка долот компании Smith

Скважина	Тип долота	Номер долота	Проходка, м	Время бурения, час	Мех. скорость, м/ч
3 Трайгородская	215,9 XR+	5468	727,5	45,7	15,9
346 Ю. Черемшанская	215,9 XR+	7734	557,7	30	18,6
1 Ново-Сомовская	215,9 XR+	5468	1163	82,5	14,1
78 Ю. Тамбаевская	215,9 FG 15	9647	753	71,3	10,6
1 Нижнепервомайская	215,9 FG 15	96068	424	47,5	8,9
1 Р. Моисеевская	215,9 FG 15	96068	649	98,5	6,6

Анализ применения долот компании Smith в Томской области показывает, что показатели работы этих долот превосходят аналогичные характеристики работы отечественных долот. Долота Smith дают выигрыш в скорости и стоимости бурения. Их применение более эффективно и экономически целесообразно, а это является наиболее значительными факторами в выборе инструмента для работ. Отечественным производителям буровых долот следует развивать новые технологии, позволяющие продлевать время эффективной работы долота. А пока, по нашему мнению, в Томской области долота компании Smith будут постепенно вытеснять отечественные.

Литература

1. Сайт www.smith.com, каталог буровых долот 2005 - 2006 гг.

ОЦЕНКА ПРИХВАТООПАСНОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОРОК БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

А.Н. Спиридонов

Научный руководитель профессор В.В. Кривошеев

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

В процессе бурения скважин нередко возникают различные осложнения, связанные с несоответствием свойств бурового раствора геолого-техническим условиям бурения. Некоторые из этих осложнений, такие как чрезмерный вращающий момент бурильной колонны, затяжки и посадки инструмента приводят к снижению эффективности процесса бурения. Другие проблемы, например прихват бурильной колонны, могут стать причиной тяжелой аварии, а иногда привести и к ликвидации скважины.

Изучая механизм возникновения прихватов, многие исследователи пришли к выводу, что одной из значимых причин появления такого рода осложнений является толстая, рыхлая, высокопроницаемая фильтрационная корка.

В настоящее время критериями, по которым в производственных условиях косвенно оценивают прихватоопасность фильтрационной корки, являются ее толщина и фильтрация бурового раствора. Иногда можно встретить такие критерии, как коэффициент трения корки и коэффициент сдвига корки.

Учитывая, что объемы бурения глубоких скважин со сложным профилем растут, предупреждение осложнений и аварий, связанных с затруднением перемещения колонны труб в скважине, приобретает все большую актуальность. Несмотря на это, противоприхватные свойства фильтрационных коронок изучены недостаточно.

Анализ методик и технических средств, разработанных для определения трибологических свойств буровых растворов и фильтрационных коронок, показал, что при определении трения по корке, исследователи воспроизводят гидродинамический тип трения, при этом они определяют «коэффициент трения» (коэффициент сдвига корки, а также липкость) по формулам, описывающим сухое и граничное трение.

Ярким примером этого служит широко распространенная методика определения прихватоопасности фильтрационной корки бурового раствора с помощью прибора КТК-2.

Определение величины «коэффициента трения» в такого рода приборах базируется на том, что в момент страгивания образца, сила F , вызывающая его перемещение, примерно равна $F_{тр}$ (рис. 1)

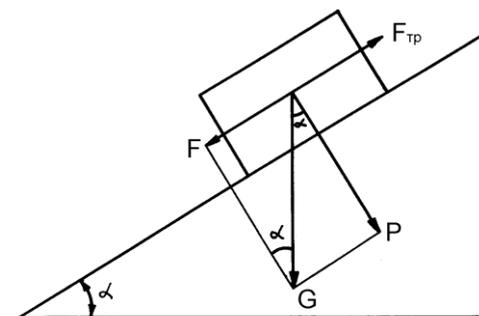


Рис. 1. Схема разложения сил для определения коэффициента трения

$$F = F_{тр} = \mu P \quad (1)$$

В то же время, как следует из рис. 1, сила F равна:

$$F = P \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

где α - угол наклона желоба, град.

Приравняв правые части выражений (1) и (2) и выразив из этого равенства коэффициент трения, получим:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Существуют и другие приборы, такие как модернизированный СНС-2, определяющий коэффициент сдвига корки (КСК) по максимальному углу закручивания проволоки, на которой крепится подвеска, входящая в контакт с фильтрационной коркой, а также приборы, основанные на том же принципе СТФК-1, ПТ-2. Все эти приборы моделируют механизм гидродинамического (жидкостного) трения, но определение на них «коэффициентов трения» базируются на теории сухого и граничного трения.

Фильтрационная корка бурового раствора – это дисперсная система с большим (до 60 %) содержанием твердой фазы. По сути, является упруго-вязко-пластичным телом, следовательно, процессы, происходящие при сдвиге фильтрационной корки, необходимо изучать, основываясь на реологических зависимостях напряжения корки от скорости сдвига.

С целью исследования реологических свойств фильтрационных корок буровых растворов в лаборатории аналитического центра Югорского государственного университета применялся прибор RotoVisko1 фирмы Thermo Haake (рис. 2). Работы выполнялись в рамках хозяйственного договора с ОАО «Хантымансийскнефтегазгеология».

Реологические свойства корок исследовались по следующей методике. Из просеянного глинопорошка готовился исходный 4 % глинистый раствор. В данном случае использовался глинопорошок Хакасского бентонита марки ПБА. С помощью реометра определялись реологические характеристики раствора (пластическая вязкость и СНС). Для выполнения измерений использовался реометр фирмы Fann модель 286.

Затем определялось содержание твердой фазы в растворе на галогеновом анализаторе влажности Mettler Toledo. На фильтрационной установке низкого давления Fann, при перепаде давления в 7 МПа, в течение 30 минут, осуществлялась фильтрация раствора. Полученную глинистую корку также исследовали на содержание твердой фазы. С помощью микрометрической установки определялась толщина фильтрационной корки.



она
сдвига

Рис. 2. Реометр Roto Visko 1

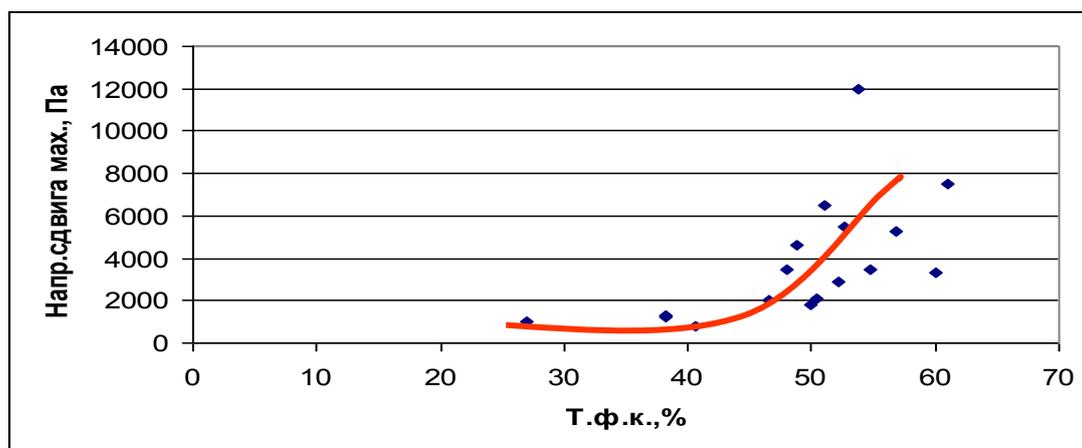


Рис. 3. График зависимости максимального напряжения сдвига корки от содержания в ней твердой фазы

На реометре RotoVisko 1 изучались реологические свойства фильтрационной корки. Снималась зависимость напряжения сдвига корки от скорости сдвига в диапазоне скоростей от 0,18 до 100 с⁻¹.

Все исследования с целью сопоставимости результатов проводились на одной измерительной паре конус-плоскость.

Исследования проводились как на модельных растворах, приготовленных в лабораторных условиях, так и на буровых растворах, отобранных из бурящихся скважин.

Результаты исследования фильтрационных корок, полученных из буровых растворов из скважин, были сопоставлены с технико-экономическими параметрами бурения этих скважин. Выделяется зависимость частоты возникновения осложнений в скважине от характера поведения фильтрационной корки при сдвиге.

Проведенные исследования фильтрационных корок показали, что зависимость максимального напряжения фильтрационной корки при сдвиге от толщины фильтрационной корки и фильтрации бурового раствора существует. Но при этом коэффициент корреляции не превышает 0,3. Очевидно, что такой связи недостаточно для объективной оценки прихватоопасности.

В процессе исследования постоянно определялись содержание твердой фазы в буровом растворе и в фильтрационной корке. Обработка полученных результатов показала, что напряжение сдвига и характер реологического поведения фильтрационной корки зависит от содержания в ней твердой фазы. При этом существует корреляция с коэффициентом 0,7. На рис. 3. представлен график зависимости максимального напряжения сдвига корки от содержания в ней твердой фазы.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что ввод в обращение такого критерия оценки прихватоопасности, как содержание твердой фазы в корке, позволит своевременно реагировать на изменение свойств бурового раствора и вносить соответствующие коррективы.

Выводы

1. Для оценки прихватоопасности бурового раствора недостаточно определения толщины фильтрационной корки и фильтрации за 30 минут;
2. Оценку прихватоопасности фильтрационной корки можно проводить по реологической кривой.
3. Существует зависимость максимального напряжения сдвига корки от содержания в ней микрочастиц выбуренной породы.
4. Определяя в условиях буровой содержание твердой фазы в корке, можно с высокой достоверностью оценивать прихватоопасность бурового раствора.

ЧЕТЫРЕХСТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА

А.Ю. Широков

Научный руководитель профессор Н.Г. Квеско
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В процессе бурения скважин буровой раствор непрерывно обогащается дисперсными частицами шлама, что приводит к росту показателей его структурно-механических свойств, снижению скорости бурения, износу оборудования и инструмента, создаются условия для возникновения осложнений и аварий в стволе скважин. Таким образом, содержание и состав твердой фазы бурового раствора существенно влияют на показатели бурения.

Своевременная и качественная очистка промывочных жидкостей от частичек выбуренных пород – важнейшее условие эффективности процесса бурения разведочных и эксплуатационных скважин. Накопление шлама в промывочном растворе существенно ухудшает его качество. Это способствует образованию толстой рыхлой корки на стенке скважины, возрастает опасность возникновения обвалов. Использование «зашламованных» растворов нередко приводит к сальникообразованию и прихватам бурильной колонны, преждевременному износу насосов и бурового снаряда, а также излишнему расходу химических реагентов.

Для очистки буровых растворов в обязательном порядке используется трехступенчатая система очистки. Это позволяет удалять из бурового раствора 70 – 80 % шлама с диаметром частиц до 30 – 40 микрон.

В последнее время нашла широкое применение в практике четырехступенчатая система очистки, позволяющая удалять из бурового раствора 95 – 98 % шлама с диаметром частиц до 2 – 5 микрон.

В качестве четвертой ступени очистки бурового раствора используется центрифуга, представляющая собой двухфазовый декантер, предназначенный для удаления твердых частиц из жидких фракций.

Недостатком применяемых на предприятии центрифуг является невозможность изменения частоты вращения барабана в процессе бурения. Вследствие этого из раствора удаляются все частицы размером менее 2 микрон, что ведет к потере из раствора до 90 % глины, и, как следствие, к разжижению раствора, падению плотности и снижению тиксотропных свойств.

Для поддержания необходимых свойств раствора необходимо периодически вводить в него химические реагенты. Поэтому желательно иметь центрифугу с более гибкой системой изменения частоты вращения ротора, что повлияет на размер удаляемых, и, что ещё более важно, остающихся в рабочем растворе частиц. Это позволит уменьшить непродуктивный расход глинистого компонента и химических реагентов.

Поскольку буровые жидкости по своей природе значительно отличаются друг от друга, используемый для вышеуказанных целей декантер должен быть достаточно универсальным, чтобы его можно было использовать для различных типов растворов, которые используются в данной отрасли.

Опираясь на поставленные задачи КБ "Сириус" совместно с Компанией "ЗКОМАШ" выпустили центрифугальные установки типа ОГШ-469Л-03-УХЛ4. Данная установка удовлетворительно прошла промышленные испытания в буровых организациях ОАО «Укрнефть» в 2004 г. и в настоящее время внедряется в производство и на территории России.

При работе центрифугальной установки ОГШ-469Л-03-УХЛ4 контролируется фактическая нагрузка электродвигателей приводов ротора и дополнительного привода шнека (в случае его использования), температура подшипников коренных опор. Предусмотрены автоматические защиты электродвигателей и редуктора от перегрузок.

Одна из модификаций центрифугальной установки ОГШ-469Л-033-УХЛ4 оснащается шкафом управления с плавным частотным регулированием (ПЧВ) оборотов электродвигателя. Шкаф управления с ПЧВ оснащается автономной системой климат - контроля по температуре и влажности воздуха внутри шкафа, и при необходимости – дополнительной системой стабилизации входного напряжения электросети в диапазоне от 320 до 450 В [1].

По технологическим параметрам, техническим характеристикам и показателям надежности данные центрифугальные установки не уступают лучшим зарубежным аналогам и вполне могут решить существующие проблемы.

В 2004 году компания Alfa Laval выпустила в серию новую, более "умную", центрифугальную установку, оснащенную системой управления Alfa Laval Octopus.

Система очистки Alfa Laval - самый быстрый, наиболее эффективный способ очистки и увеличения срока годности бурового раствора. Система работает по принципу центробежного сепарирования в непрерывном режиме, не требует замены фильтров и профилактической мойки. Ещё одно преимущество предлагаемой системы - удаление из раствора случайно попавших в него масел, бактерий и механических примесей. При этом срок службы технологической жидкости увеличивается в 5 и более раз, а срок окупаемости составляет менее одного года.

Перспективный декантер LYNX 20 для бурового раствора обладает целым рядом очевидных преимуществ, возможных благодаря новым разработкам компании Alfa Laval в области практического применения декантирующих центрифуг. Новая модель фактически может применяться со всеми типами жидкостей на основе воды и синтетического материала в дополнение к обычным буровым жидкостям на нефтяной основе. Благодаря применению новых

эффективных методов производства, декантер LYNX 20 обладает беспрецедентной производительностью, несмотря на его наиболее конкурентную стоимость на рынке декантирующих центрифуг.

Разработаны дополнительные модули, специально предназначенные для применения декантера LYNX 20 на буровых платформах. В их комплект входит разнообразное оборудование от полностью автоматизированных модулей до простых ручных устройств, обеспечивающих эффективные решения для удовлетворения всех возможных требований по удалению твердых частиц [2].

Данная центрифуга предназначена как для удаления твердой фазы и утяжелителей, так и для регенерации жидкостей.

Особого внимания заслуживает автоматическая система управления работой декантирующей центрифуги. Система Alfa Laval Octopus представляет собой невиданный прежде «автопилот», применяемый вместе с декантерами для обезвоживания осадка. Его единственное назначение состоит в том, чтобы сделать максимально эффективным процесс обезвоживания осадка в установках по очистке сточных вод, работающих круглосуточно.

Исключительно важное преимущество системы Alfa Laval Octopus заключается в наличии автоматического контроля, управления и оптимизации всего процесса обезвоживания осадка.

Благодаря высокой эффективности системы Alfa Laval Octopus ее применение позволяет сократить расходы на стадии обезвоживания осадка до 20 %. Так как на секцию обезвоживания установки по очистке сточных вод обычно приходится до трети всех ее эксплуатационных расходов, эта система обеспечивает значительную экономию средств.

Основным компонентом системы Alfa Laval Octopus является устройство, которое работает по алгоритмам специального программного обеспечения, разработанного для оптимизации процесса обезвоживания. Это устройство объединяет в себе качества оператора высшей квалификации, повышенную круглосуточную внимательность, быстрое и адекватное реагирование на любые изменения в технологическом процессе обезвоживания.

Применение этой системы благодаря ее исключительно высокой экономической эффективности позволяет учесть при расчете оптимальных регулировок все существенные расходы, включая затраты на приобретение полимерного материала, потребляемую электроэнергию и удаление осадка.

Для непрерывного определения и анализа параметров процесса в системе Alfa Laval Octopus применяются самые новые на сегодня инфракрасные датчики. Если необходимо, требуемым настройкам подвергаются скорость подачи осадка, дозирование полимерного материала и внутренние установки декантирующей центрифуги.

Автоматический контроль в реальном времени за изменением условий протекания процесса сокращает число простоев благодаря уменьшению количества аварийных сигналов и, следовательно, числа отключений декантера. До 25 % снижается расход полимерного материала, а обезвоженный осадок становится на 2 % более сухим. Из центрифуги сбрасывается более чистая вода, что означает увеличение количества твердых частиц, удаляемых из нее в результате центрифугирования, и соответствующее снижение нагрузки на цикл производительной работы декантера.

Система Alfa Laval Octopus с помощью дисплея обеспечивает оператору доступ к процессу обезвоживания в реальном времени, что позволяет лучше понимать все происходящее во время осуществления производственных операций и протекание технологического процесса.

Рассмотрев данную технологию очистки буровых растворов, можно выделить ряд преимуществ:

1. Возможность вести строительство скважин на месторождениях с повышенными экологическими требованиями.
2. Снижение расхода химреагентов.
3. Сокращение расходов на утилизацию отходов бурения.
3. Уменьшение количества спуско-подъемных операций вследствие увеличения проходки на долото.
4. Увеличение долговечности работы породоразрушающих инструментов, ресурса забойных двигателей, бурильного инструмента.
5. Уменьшение износа буровых насосов.
6. Снижение вероятности аварийных работ и их ликвидации.

Появление новой системы управления декантирующей центрифугой должно подтолкнуть отечественные конструкторские бюро к разработке подобных систем.

Литература

1. www.kb-sirius.com.
2. www.alfalaval.com