



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **B** (11) **34540**
(51) *G01N 11/00* (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2019/0007.1

(22) 03.01.2019

(45) 28.08.2020, бюл. №34

(72) Билецкий Мариан Теодорович; Ратов Боранбай Товбасарович; Деликешева Динара Насипуловна

(73) Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

(56) WO 2013155508 A1 17.10.2013

RU 2707621 C2 28.11.2019

RU 2601279 C2 27.10.2016

KZ 25122 A4 15.12.2011

(54) **СПОСОБ АНАЛИЗА ЧАСТИЦ ШЛАМА, ВЬНОСИМЫХ БУРОВЫМ РАСТВОРОМ**

(57) Изобретение относится к области добычи полезных ископаемых, в частности к бурению скважин, а именно к буровым растворам.

Упрощение процедуры опытов по анализу частиц шлама и обеспечение возможности непосредственно на буровых установках классифицировать эти частицы по степени их выносимости из ствола

данной скважины заключается в том, что бурение останавливают и скважину промывают до наступления равенства плотностей нисходящего и восходящего потоков промывочной жидкости; после возобновления бурения через установленные постоянные интервалы времени производят замеры плотности выходящего из устья скважины раствора; причем рост плотности после каждого последующего замера характеризует содержание частиц следующего в сторону ухудшения выносимости класса; замеры прекращают, когда рост плотности окажется нулевым; диаметр частиц каждого класса оценивается по алгоритму.

Предлагаемый способ упрощает проведение опытов по анализу частиц шлама, пригоден для широкого применения на буровых установках и учитывает не только размеры частиц, но и, прежде всего, их способность к выносу в конкретных условиях бурения данной скважины.

(19) KZ (13) B (11) 34540

Изобретение относится к области добычи полезных ископаемых, в частности, к бурению скважин, а именно к буровым растворам.

Известен способ анализа частиц бурового шлама в растворе [IADC/SPE 112687 Automatic measurement of Drilling Fluid and Drill cuttings Properties. A Saasen et al. USA march 2008], Способ реализуется путем использования специальной установки. Заливаемую в нее пробу раствора определенного объема разбавляют до объема, когда жидкость становится прозрачной, и после этого частицы фотографируют в луче света. Далее фотографию подвергают обработке, в ходе которой частицы вписываются в двумерные шаблоны известных размеров. После этого производится подсчет шаблонов и определяется содержание частиц каждого размера. Чтобы учесть размеры по третьей координате (фотография дает расположение частиц на плоскости), частицы подвергают вращению и снова обрабатывают описанным способом.

Недостаток данного способа - в сложности используемого устройства и процедуры его применения, высокой стоимости, а также в малоприспособности для полевых условий, что ограничивает его использование для контроля буровых растворов непосредственно на буровой установке. Кроме того, данный способ обеспечивает учет только размеров и формы частиц шлама, тогда как для оценки качества очистки скважины от шлама необходим комплексный критерий, учитывающий, как дополнительные факторы, относящихся к самим частицам (в частности их плотность), так и параметры бурового раствора, и геометрические параметры скважины.

Технической задачей изобретения является упрощение процедуры опытов по анализу частиц шлама и обеспечение возможности непосредственно на буровых установках классифицировать эти частицы по степени их выносимости из ствола данной скважины и по их размерам.

Технический результат состоит в том, что предлагаемый способ упрощает проведение опытов по анализу частиц шлама, пригоден для широкого применения на буровых установках и учитывает не только размеры частиц, но и, прежде всего, их способность к выносу в конкретных условиях бурения данной скважины.

Технический результат достигается тем, что бурение останавливают и скважину промывают до наступления равенства плотностей нисходящего и восходящего потоков промывочной жидкости; после возобновления бурения через установленные постоянные интервалы времени производят замеры плотности выходящего из устья скважины раствора; причем рост плотности после каждого последующего замера характеризует содержание частиц следующего в сторону ухудшения выносимости класса; замеры прекращают, когда рост плотности окажется нулевым.

Техническое осуществление достигается следующим образом:

Как и в прототипе, данный способ служит для классификации частиц бурового шлама. Эта

классификация так же может осуществляться и по размерам этих частиц. Для проведения дальнейших процедур, требуемых по каждому способу, отбираются пробы выходящего из устья скважины восходящего потока промывочной жидкости. Устанавливаемая классификация в обоих случаях тесно связана с геолого-техническими условиями ведения процесса бурения на данном интервале углубки. При этом обработка отобранных проб связана с используемыми измерительными системами, которые существенно различаются. Измерительная система прототипа представляет собой сложную установку (см. выше), специально созданную для осуществления избранного способа классификации частиц шлама. В заявляемом нами способе измерительная система сводится к стандартному измерителю плотности раствора (пикнометру), что резко удешевляет достижение общей, поставленной для обоих способов цели. Заявляемый способ состоит из следующей последовательности операций:

- Останавливают процесс бурения и фиксируют время момента остановки. При этом продолжается работа бурового насоса с прежней величиной его подачи, а из устья скважины продолжает выходить раствор с плотностью, которая имела место в процессе бурения.

- Фиксируется момент начала выхода "чистого" раствора - с плотностью, заданной при его приготовлении и поддерживаемой системами очистки и удаления шлама. Определяется разность времен T_0 этого момента и момента остановки бурения.

- Возобновляется процесс бурения с теми же режимами, которые имели место до остановки и через установленные периоды времени осуществляются замеры плотности исходящего из устья скважины бурового раствора. При каждом замере плотность раствора будет возрастать вследствие присоединения все более трудно выносимых частиц бурового шлама. Когда при очередном замере возрастания плотности не будет зарегистрировано, замеры прекращают. При постоянстве условий углубки скважины плотность при последнем замере должна равняться той, которая была до остановки бурения.

- Задаваемое общее время замеров должно быть увязано с зафиксированным временем T_0 от остановки бурения до появления на поверхности "чистого" раствора, т. к. в процессе этого времени (времени промывки) происходят те же разделение частиц по их выносимости, но в обратном порядке (первыми пропадают самые трудновыносимые фракции). Сумма времен замеров не должна быть меньше T_0 , т. к., в противном случае за пределами полученной классификации останутся наиболее трудно выносимые частицы. Количество замеров, т. е. количество классов частиц шлама по их выносимости должно быть таким, чтобы различия плотностей при последовательных замерах заведомо превышали ошибку прибора- измерителя плотности.

Для оценки диаметра частиц каждого класса используется ниже приведенный алгоритм.

Согласно формуле Ритингера [Л.М.Ивачев: “Промывка и тампонирующее геологоразведочных скважин”. М.: Недра 1975, 1989], скорость падения частицы в неподвижной жидкости:

$$U = K \sqrt{d_{\text{ч}} \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}} \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ - плотность материала частицы; $\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, $d_{\text{ч}}$ - эквивалентный диаметр частицы (диаметр шара, объемом равного объему частицы), K - коэффициент формы частицы. Для округлых частиц он равен 4.0 - 4.5 м^{0.5}/с, для частиц плоской формы 2 - 4.0 м^{0.5}/с.

Отсюда размер частицы при замере номер i .

$$d_{\text{чи}} = \frac{U_i^2 \rho_{\text{ж}i}}{K^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}i})} \quad (2)$$

где $\rho_{\text{ж}i}$ - плотность раствора, полученная при i - том замере.

Скорость падения частицы в неподвижной жидкости можно определить и так:

$$U_i = (g - C_i) \cos \theta \quad (3)$$

где g - скорость восходящего потока жидкости в кольцевом пространстве; C_i - скорость подъема (выноса) частицы, θ - средний зенитный угол скважины. У большинства эксплуатационных скважин, буримых на нефть, газ, воду и уран, угол θ близок к нулю, а его косинус - к единице.

Скорость восходящего потока:

$$g = \frac{L_c}{T_{\text{ж}}} \quad (4)$$

где L_c - длина скважины; $T_{\text{ж}}$ - время движения жидкости от забоя до устья.

$$T_{\text{ж}} = \frac{V}{Q} \quad (5)$$

где Q - расход жидкости (подача насоса); V - объем пространства между скважиной и бурильными трубами.

$$V = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\pi}{4} (D_j^2 - d^2) - L_j \right) \quad (6)$$

где J - номер участка ствола, имеющего диаметр D_j ; L_j - длина этого участка; n - количество участков с разными диаметрами; d - наружный диаметр бурильных труб. Часто скважину можно представить, как единственный $n = 1$ участок, когда D_j можно обозначить как D , а L_j - как L_c .

Это возможно в случае выхода последней обсадной колонны на поверхность, т. к. внутренний диаметр обсадки близок к диаметру ниже расположенного открытого ствола, особенно ввиду “разработки” последнего т. е. расширения под

влиянием вращения бурильной колонны и размыва потоком жидкости. Скорость выноса частицы каждого класса:

$$C_i = \frac{L_c}{T_i}, \quad (7)$$

где T_i - время подъема частицы при очередном i - том замере, - т.е. частицы i - того класса выносимости. Общее число классов:

$$m = \frac{\rho_{\text{б}} - \rho_{\text{нп}}}{\Delta \rho} \quad (8)$$

где $\rho_{\text{б}}$ - плотность раствора в момент остановки бурения; $\rho_{\text{нп}}$ - плотность очищенного нисходящего потока; $\Delta \rho$ - установленный интервал плотностей.

Для различимости плотностей соседних классов необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$\Delta \rho \geq 0.25 \text{Ц} \quad (9)$$

где Ц - цена деления пикнометра (измерителя плотности).

Время подъема, частицы задается как:

$$T_i = T_{\text{ж}} + \Delta T_i \quad (10)$$

где; ΔT_i - интервал времени между замерами. Необходимо чтобы:

$$\Delta T_i \geq \frac{T_{\text{о}}}{m} \quad (11)$$

где- $T_{\text{о}}$ - время очищения раствора при промывке (т.е. - от остановки бурения до появления “чистого” раствора).

Приведенный алгоритм демонстрирует тот факт, что при данных скважинных условиях скорость C_i выноса частицы шлама тем ниже, чем выше скорость U_i ее падения в неподвижной жидкости и больше размер $d_{\text{чи}}$ частицы. В первую очередь поверхности достигают наиболее мелкие частицы, затем к ним присоединятся более крупные и т. д.

Периодические замеры плотности каждый раз регистрируют ее увеличение на определенную величину, характеризующую содержание частиц данного i - того класса выносимости. Процентное содержание частиц класса i определяется по формуле:

$$C_{T_i} = 100\% \frac{\rho_{\text{ж}i} - \rho_{\text{ж}i-1}}{\rho_{\text{б}} - \rho_{\text{нп}}} \quad (12)$$

Формула дает классификацию частиц по времени T_i их выноса, задаваемого через установленные одинаковые периоды.

От этой классификации можно перейти к классификации частиц по их размерам, задаваемым с одинаковыми интервалами. Это осуществляется с помощью статистических методов:

Накопленное содержание для частицы, размер которой соответствует

времени ее выноса T_i , при $i = n$

$$C_{HTi} = \sum_{i=1}^n C_{Ti} \quad (13)$$

Накопленное содержание, соответствующее некоторой частице размера d_p , принадлежащей к интервалу замеров плотности от номера $i - 1$ до I определяется, путем интерполяции:

$$C_{Hdp} = \frac{C_{HTi} - C_{HTi-1}}{d_{ci} - d_{ci-1}} (d_p - d_{ci-1}) + C_{HTi-1} \quad (14)$$

где d_{ci} определены по формуле (2)

По формуле (14) определяется накопленное содержание для частиц размером d_{pi} , соответствующим концу каждого i - того установленного интервала размеров. Величина интервала округляется до десятых долей миллиметра и определяется по формуле

$$\Delta_{dp} \geq \frac{d_{i \max}}{m} \quad (15)$$

Содержание частиц в каждом интервале:

$$C_{dPi} = C_{HTPi} - C_{HTPi-1} \quad (16)$$

Для классификации частиц по размерам можно также использовать графический метод (фиг.1): На абсциссе откладываются размеры частиц, на ординате - соответствующие накопленные содержания. График (в статистике он называется “кумулята”) строится на основе частиц, размеры которых d_{ci} получены при их классификации по выносимости, соответствующие точки выделены на графике. На абсциссе показаны также заданные интервалы размеров частиц. Значения определенных по кумуляте накопленных содержаний для концов этих интервалов позволяют найти содержание частиц в каждом интервале.

Осуществимость данного изобретения в производственных условиях подтверждается следующим примером (приведенные в примере условия характерны для бурения скважин на урановое сырье в южном Казахстане): Имеется вертикальная (зенитный угол $\Theta = 0^\circ$) скважина глубиной $L_c=1000$ м; ствол скважины не обсажен и имеет один и тот же диаметр $D = 161$ мм; наружный диаметр бурильных труб $d = 50$ мм. Плотность нисходящего потока раствора $\rho_{HP} = 1050$ кг/м³; плотность восходящего потока в момент остановки бурения $\rho_B = 1150$ кг/м³; плотность частиц шлама $\rho_c = 2800$ кг/м³; коэффициент формы частицы $K=3.5$ м^{0.5}/с; цена деления пикнометра $\rho = 10$ кг/м³. Производительность насоса $Q = 300$ л/мин;

При осуществлении заявленного способа анализа частиц шлама произведены следующие действия:

- Остановлен процесс бурения с фиксацией времени момента остановки. При этом продолжается работа насоса с подачей $Q = 300$ л/мин. а из скважины

продолжает выходить раствор с плотностью $\rho_B = 1150$ кг/м³.

- Фиксируется момент начала выхода “чистого” раствора с плотностью $\rho_{HP} = 1050$ кг/м³. Определяется разность этого момента и момента времени остановки бурения, которая оказалась равной: $T_0=3.2$ ч (11520) с.

- Возобновляется процесс бурения с теми же режимами, которые имели место до остановки и с периодом $\Delta_T = 0.5$ ч (1800 с) осуществляются замеры плотности выходящего из устья скважины бурового раствора.

В табл.1 приведены результаты выполненных на основе исходных данных предварительных расчетов, необходимых для обработки замеров.

В табл.2 приведены промежуточные и окончательные результаты обработки замеров плотности бурового раствора с целью классификации частиц шлама по их способности к выносу и по их размерам.

Таблица 1

Величины, определяемые предварительными расчетами

Параметр	Значение	Формула
Объем кольцевого пространства, $V, \text{ м}^3$	18.40	(6)
Время движения жидкости от забоя к устью, $T_{ж}, \text{ ч}$	1.02	(5)
Скорость восходящего потока жидкости, $\vartheta, \text{ м/с}$	0.272	(4)
Установленный период замеров, $\Delta_T, \text{ ч}$	0.5	(11)
Установленное число классов частиц, m	5	(8), (9)
Установленный интервал размеров частиц, $\Delta_{dp}, \text{ мм}$	0.5	(15)

Результаты анализа частиц бурового раствора

Параметр	Формула	Класс частиц i					
		0	1	2	3	4	5
		Классификация частиц по выносимости					
Время подъема частицы. T_i , ч	(10)	1.02*	1.52	2.02	2.52	3.02	3.52
Плотность раствора. $\rho_{жi}$, кг/м ³	Результат замера	1050	1070	1100	1130	1145	1150
Скорость выноса частицы. C_i , м/с	(7)	0.272*	0.183	0.137	0.110	0.092	0.079
Скорость падения частицы U_i , м/с	(3)	0	0.089	0.135	0.162	0.180	0.193
Размер частицы, $d_{чи}$, мм	(2)	0	0.403	0.995	1.444	1.828	2.118
Содержание частиц C_{Ti} , %	(12)	0	20	30	30	15	5
Накопленное содержание C_{HTi}	(13)	0	20	50	80	95	100
Классификация частиц по размерам							
Размеры частиц от $d_{p_{i-1}}$ до d_{p_i} , мм	(15)**	0	0-05	0.5-1	1-1.5	1.5-2	>2
Средний размер частицы, мм		0	0.25	0.75	1.25	1.75	>2
Накопленное содержание C_{Hdpi}	(14)	0	24.9	50	82.2	97.8	100
Содержание частиц C_{dpi} , %	(16)	0	24.9	25.1	32.2	15.8	2

* Относится к чистому раствору - приведено для сравнения

** Число интервалов соответствует числу замеров плотности

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ анализа частиц шлама, выносимых буровым раствором, *отличающийся* тем, что бурение останавливают и скважину промывают до наступления равенства плотностей нисходящего и восходящего потоков промывочной жидкости; после возобновления бурения через установленные постоянные интервалы времени производят замеры плотности выходящего из устья скважины раствора, причем рост плотности после каждого последующего замера характеризует содержание частиц следующего в сторону ухудшения выносимости класса; замеры прекращают, когда рост плотности окажется нулевым; затем согласно принятому алгоритму определяют размер частицы каждого класса:

$$d_{чи} = U_i^2 \rho_{жi} / K^2 (\rho_{ч} - \rho_{жi})$$

где

$$U = (\vartheta - C_i) \cos \Theta$$

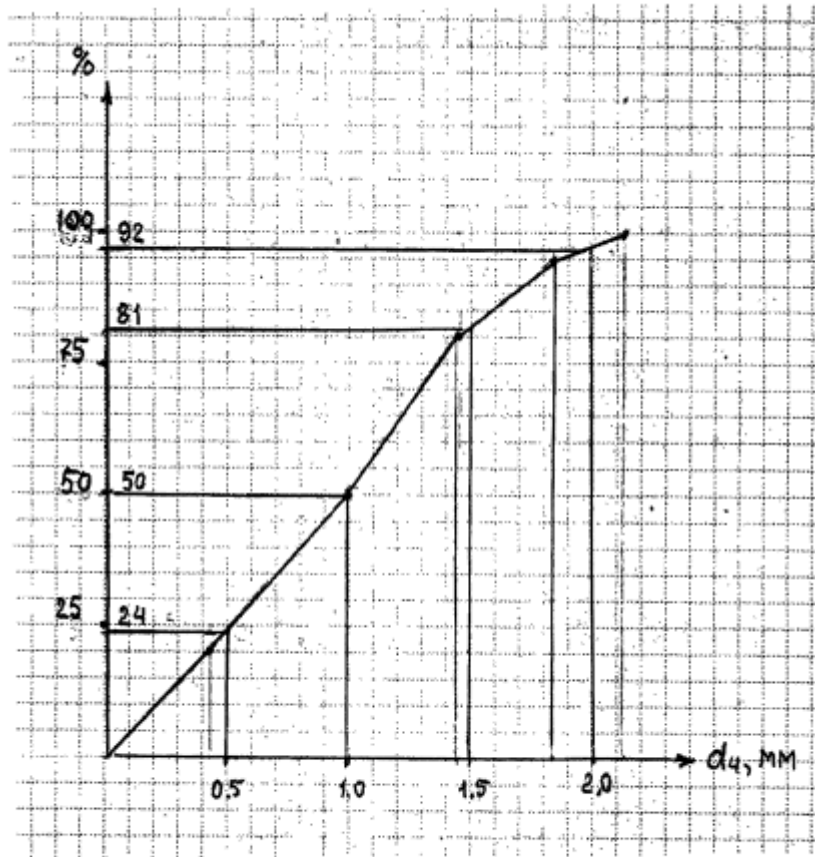
$$\vartheta = L_c / T_{ж}$$

$$T_{ж} = V / Q$$

$$C_i = L_c / T_i$$

$$T_i = T_{ж} + \Delta T * i$$

где i — номер класса частицы по выносу (порядковый номер замера); U_i - скорость падения частицы в неподвижной жидкости; Θ - средний по длине скважины зенитный угол; $\rho_{жi}$ — плотность восходящего потока жидкости при i - том замере; $\rho_{ч}$ - плотность материала частицы; K - коэффициент формы частицы; ϑ - скорость восходящего потока жидкости; C_i - скорость выноса частицы; Q - подача бурового насоса; V - объем кольцевого пространства; L_c - длина скважины; $T_{ж}$ — время движения жидкости от забоя до устья скважин; T_i - время достижения частицей устья скважины; ΔT - интервал времени замеров.



Фигура 1