



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **B** (11) **34539**
(51) *G01N 11/00* (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2018/0908.1

(22) 05.12.2018

(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) Ивачев Л.М. Промывка и тампонирование геолого-разведочных скважин. Москва. 1989. С. 26-30

RU 2185611 C2, 20.07.2002

SU 1035048 A1, 15.08.1983

GB 2516217 A, 21.01.2015

US 3777551 A, 11.12.1973

JP 3388621 B2, 24.03.2003

EA 026009 B1, 28.02.2017

(54) **СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ И ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

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

Значительное упрощение процедуры измерения пластической вязкости и ДНС буровых растворов, обеспечение возможности проводить измерения непосредственно на буровых установках осуществляется путем проведения опытов, в ходе которых при двух разных значениях задаваемых промежуточных параметров получают два соответствующих значения ответных промежуточных параметров, на основе которых составляются два линейных уравнения и вычисляются искомые значения пластической вязкости и ДНС бурового раствора, причем в качестве задаваемых промежуточных параметров принимаются мерные объемы раствора, а в качестве ответных промежуточных параметров - соответствующие периоды времени их истечения.

Данный способ позволяет значительно упростить и удешевить измерения реологических параметров буровых растворов, он пригоден для широкого применения на буровых установках.

(19) KZ (13) B (11) 34539

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

Известен способ, на котором основан прибор ВСН-3 [Л. М. Ивачев: Промывка и тампонирующие геологоразведочных скважин М.: Недра 1975, 1989], предназначенный для измерения пластической вязкости ПВ и динамического напряжения сдвига ДНС буровых растворов. Прибор состоит из двух соосно расположенных стаканов, из которых внутренний подвешен в наружном на упругой нити. Испытуемый раствор заливают в зазор между стаканами, после чего наружному стакану сообщают вращение. Силы жидкостного трения приводят во вращение внутренний стакан, который останавливается после поворота на некоторый угол, ввиду сопротивления упругой нити скручиванию. Угол поворота тем больше, чем выше ПВ и ДНС измеряемого раствора. Способ измерения реологических параметров испытуемого бурового раствора с помощью этого прибора заключается в следующем: Для нахождения ПВ и ДНС раствора опыты проводятся на указанном приборе, по крайней мере, дважды - при разных частотах вращения (что обеспечивается конструкцией прибора). При каждой частоте вращения, представляющей собой задаваемый промежуточный параметр, получают соответствующий угол скручивания нити, который является ответным промежуточными параметром. На основе углов скручивания с учетом известной жесткости упругой нити устанавливаются предельные крутящие моменты, при которых внутренний стакан перестает вращаться вместе с наружным и останавливается. Далее составляется и решается система из двух линейных уравнений. В этих уравнениях в коэффициенты при ПВ и ДНС- упомянутые промежуточные параметры входят в качестве переменных величин, а геометрические параметры стаканов (радиусы кольцевого пространства между стаканами и высота заполнения этого пространства жидкостью и т.д.) - в качестве констант.

Недостаток данного способа - в сложности используемого устройства и процедуры измерения, высокой стоимости, а также в малоприспособности для использования в полевых условиях, что ограничивает его применение для контроля буровых растворов непосредственно на буровой установке.

Технической задачей изобретения является значительное упрощение и удешевление процедуры измерения пластической вязкости ПВ и динамического напряжения сдвига ДНС буровых растворов и обеспечение возможности проводить эти измерения непосредственно на буровых установках.

Технический результат: Предлагаемый способ упрощает и удешевляет измерение ПВ и ДНС буровых растворов; он пригоден для широкого применения непосредственно на производственных объектах, т.е. на буровых установках.

Способ измерения ПВ и ДНС бурового раствора осуществляется путем проведения последовательности действий, в ходе которых при

двух разных значениях задаваемых промежуточных параметров получают два соответствующих значения ответных промежуточных параметров, на основе которых составляются два линейных уравнения и вычисляются искомые значения ПВ и ДНС бурового раствора. Способ осуществляется на широко распространенном устройстве (фигура 1) для измерения густоты (consistence) раствора, которую в странах бывшего СССР принято именовать условной вязкостью, а согласно международной номенклатуре - "funnel viscosity" (буквально "вороночная вязкость"). Устройство представляет собой коническую воронку 1 с насадкой 2, имеющей калиброванное проходное сечение r_n . Воронку с насадкой заполняют раствором 5, и затем определяют время истечения в стакан 3, имеющий шкалу 4, мерного объема V_M , представляющего собой известную часть от общего объема V раствора в воронке. В качестве задаваемого промежуточного параметра принимается известный объем выпускаемого из воронки раствора, а в качестве ответного промежуточного параметра - полученное по результатам измерения время T вытекания этого объема из воронки. Описанные действия производятся дважды при двух различных значениях задаваемого параметра (мерного объема V_M) с получением двух соответствующих значений ответного промежуточного параметра (времени истечения T). Составляется система из двух линейных уравнений, в каждом из которых в коэффициенты при искомых значениях ПВ и ДНС ответные промежуточные параметры входят в качестве переменной части, а геометрические параметры воронки и плотность жидкости — в качестве констант. После получения результатов замеров выполняется следующая последовательность расчетов:

Как известно из элементарной геометрии, объем конуса (см. фиг. 1):

$$V_K = \frac{\pi R^2 H_K}{3} \quad (1)$$

где R - радиус основания конуса, H_K - его высота. Отношение R/H_K - тангенс угла α конусности воронки, обозначим символом K .

Если в конус залить некоторое количество жидкости, то она займет там конический объем:

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3} \quad (2)$$

где r и h соответственно радиус основания и высота этого конуса.

Поскольку $r=Kh$, то

$$V = \frac{\pi K^2 h^3}{3} \quad (3)$$

В соответствии с этой формулой в процессе истечения заданной части V_M от общего залитого в воронку объема V средняя высота жидкости в конусе воронки, т. е. та, при которой уже вытекла

половина сливаемого мерного объема - $0.5 V_M$, равна:

$$H_{MB} = \sqrt[3]{\frac{3(V-0.5V_M)}{\pi K^2}} \quad (4)$$

Средняя высота вытекания мерного объема с учетом насадки длиной L:

$$H_M = \sqrt[3]{\frac{3(V-0.5V_M)}{\pi K^2}} + L - r_H/K \quad (5)$$

Средняя скорость движения жидкости по насадке при истечении мерного объема:

$$g = \frac{V_M}{\pi r_H^2 T} \quad (6)$$

где r_H - радиус сечения канала насадки, T - полученное при опыте время истечения мерного объема

В соответствии с законами гидравлики [Мительман Б.И Справочник по гидравлическим расчетам в бурении. М.: Гостоптехиздат, 1963] при измерении условной вязкости гидростатическое давление жидкости в воронке с насадкой расходуется на две составляющие. Первая составляющая- это потери давления при протекании жидкости по насадке (соответствующая потеря давления на протекание жидкости в самой воронке пренебрежимо мала по сравнению с потерями на насадке из-за относительно весьма малого диаметра канала последней). Вторая составляющая - это потери на сжатие потока при его движении вниз по воронке. Соответственно среднее гидростатическое давление (левая часть уравнения) при вытекании мерного объема:

$$\rho g H_M = \lambda \rho L \frac{g^2}{4r_H} + \rho \frac{g^2}{2a^2}, \quad (7)$$

где ρ - плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, L— длина насадки, λ - коэффициент гидравлических сопротивлений при движении жидкости по насадке, α - коэффициент сжатия потока.

Точное значение коэффициента сжатия потока определяется при калибровке устройства измерения условной вязкости. Калибровку осуществляют при работе на воде, вязкость которой известна (динамическая вязкость $DV=0.0001$ Па*с), а ДНС = 0.

Исходя из уравнения (7), средний коэффициент гидравлических сопротивлений при движении жидкости по насадке

$$\lambda = \frac{(gH_{MC} - (g^2/2a^2))4r_H}{Lg^2} \quad (8)$$

Критерий Рейнольдса для неньютоновских (обладающих ДНС) жидкостей

$$Re = \frac{\rho g(2r_H)}{\eta + \tau \frac{2r_H}{6g}} \quad (9)$$

где η и τ — пластическая вязкость ПВ и динамическое напряжение сдвига ДНС соответственно.

С другой стороны, критерий Рейнольдса можно рассчитать по найденному выше коэффициенту гидравлических сопротивлений λ . В частности, при ламинарном режиме движения, который практически всегда имеет место при истечении из мерной воронки неньютоновских жидкостей (буровых растворов) равен

$$Re=64/\lambda \quad (10)$$

Преобразуем формулу [9] критерия Рейнольдса:

$$\eta + \tau \frac{2r_H}{6g} = \frac{\rho g(2r_H)}{Re} \quad (11)$$

Обозначим коэффициент при τ буквой b, а свободный член буквой C.

Поскольку расчеты по формулам (1) - (10) проводятся дважды, - по результатам истечения двух разных мерных объемов (0.5л и 0.25л - см. ниже, пример) V_{M5} и $V_{M2.5}$ и с получением двух значений времени истечения T_5 и $T_{2.5}$, то мы имеем систему из двух линейных уравнений:

$$\eta + \tau b_5 - c_5 = 0 \quad (12)$$

$$\eta + \tau b_{2.5} - c_{2.5} = 0$$

Решая уравнения, получаем

$$\tau = \frac{c_5 - c_{2.5}}{b_5 - b_{2.5}} \quad (13)$$

$$\eta = c_5 - \tau b_5 \quad (14)$$

Осуществимость данного изобретения в производственных условиях подтверждается следующим примером.

В качестве измерительного инструмента использовался широко распространенный на буровых работах в странах СНГ измеритель условной вязкости ВБР-2 (см. фиг.2). Это весьма простой по конструкции и относительно весьма дешевый прибор. При измерении этим прибором условной вязкости выполняется следующая последовательность действий:

- Отбор пробы раствора из приемной емкости бурового насоса;

- Заполнение прибора (воронки с насадкой) известным полным объемом $V = 0.7$ л (при этом нижний конец насадки прикрывается пальцем),
- Начало выпуска мерного объема (палец отводится от прикрываемого отверстия насадки) с одновременным запуском секундомера,
- Остановка секундомера в момент поднятия уровня растворов в мерном стакане до деления, соответствующего мерному объему $V_m = 0.5$ л.

Всю последовательность действий, как правило, проводят непосредственно на производстве, т. е. на буровой установке, тем более, что замеры условной вязкости предписывается производить обычно через каждый час бурения, а в особых условиях - через каждые 15 мин

Согласно заявленному способу измерение пластической вязкости ПВ и динамического напряжения сдвига ДНС проводилось в следующих условиях:

1. Постоянные величины, относящиеся к измерительному инструменту.

1.1. Прибор ВБР-2 имеет следующие геометрические характеристики:

1.1.1. Внутренний радиус верхнего основания воронки $R = 0.05325$ м

1.1.2 Внутренний радиус нижнего основания воронки $r = 0.004$ м

1.1.3 Высота конической части $H = 0.218$ м

1.1.4 Внутренний радиус трубчатой насадки $r_H = 0.0025$ м

1.1.5. Длина насадки $L = 0.100$ м

1.2. Характеристики, прибора ВБР-2, определяемые дополнительным расчетом:

1.2.1. Тангенс конусности воронки:

$$K = \frac{R - r}{H} = 0.2259$$

1.2.2. Коэффициент сжатия потока α .

Он определяется на основании калибровки прибора ВБР-2, проводимой с целью проверки его пригодности к работе. Калибровку проводят на чистой воде при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Вода принадлежит к ньютоновским жидкостям, у которых ДНС=0. Вязкость этих жидкостей характеризуется динамической вязкостью γ . Динамическая вязкость чистой воды в указанных условиях известна и равна $\gamma = 0.0001$ Па*с, Плотность чистой воды $\rho = 1000$ кг/м³.

При калибровке прибор заполняется полным объемом $V = 0.0007$ м³. Параметром, по которому производится калибровка, является время вытекания мерного объема воды $V_m = 0.0005$ м³. Это время должно равняться $T_K = 15 \pm 0.5$ с. При этом:

Средняя скорость движения воды по насадке:

$$g = \frac{V_m}{\pi r_H^2 * T_K}$$

Откуда $g = 1.6978$ м/с.

Критерий Рейнольдса для ньютоновской жидкости

$$Re = \frac{2r_H \rho g}{\gamma}$$

Получаем $Re = 84890$.

Эта величина превышает 15000, что означает, что движение воды происходит в турбулентном режиме и, следовательно, среднее значение коэффициента гидросопротивлений при движении воды по насадке $\lambda = 0.021$.

В вышеприведенной формуле (7)

$$\rho g H_M = \lambda \rho L \frac{g^2}{4r_H} + \rho \frac{g^2}{2a^2},$$

известны числовые значения всех членов, кроме a , Решая уравнение относительно коэффициента сжатия потока, получаем $a = 0.82$.

2. Постоянные величины, связанные с заявленным методом измерения ПВ и ДПС бурового раствора

2.1. Полный объем заливаемого раствора при обоих замерах:

$$V = 0.0007 \text{ м}^3$$

2.2. Задаваемые мерные (выпускаемые) объемы при двух замерах:

$$V_{M5} = 0.0005 \text{ м}^3, V_{M2.5} = 0.00025 \text{ м}^3$$

2.3. Дополнительным расчетом определяются средние высоты истечения

$$H_M = \sqrt[3]{\frac{3(V - 0.5V_M)}{\pi K^2}} + L - r_H / K$$

Подставив вышеприведенные значения $V_{M5} = 0.0005 \text{ м}^3$ и $V_{M2.5} = 0.00025 \text{ м}^3$, получаем: $H_{M5} = 0.2858$ м, $H_{M2.5} = 0.3019$ м.

Установив необходимые значения всех постоянных величин, переходят к последовательности действий по замерам времен истечения заданных мерных объемов конкретного бурового раствора. Она полностью соответствует вышеописанной процедуре измерения условной вязкости, которая, однако повторяется дважды при двух разных мерных объемах.

Использовался водный раствор глины, плотностью $\rho = 1100$ кг/м³.

Таблица 1

Расчет ПВ и ДНС на основании результатов двух замеров

Наименование	Формула	Мерные объемы	
		V_{M5}	$V_{2.5}$
Время истечения по результатам замеров T, c		29.9	13.9

Средняя скорость в насадке ϑ , м/с	(6)	0.8516	0.9158
Средняя высота истечения H_M , м	(5)	0.2858	0.3019
Средний коэффициент сопротивлений λ	(8)	0.3122	0.2787
Средний критерий Рейнольдса	(10)	205.0	229.6
Коэффициент b	(11)	0.0009786	0.0009099
Свободный член c	(11)	0.02285	0.02194

Решая систему из двух уравнений (12), с помощью формул (13) и (14) определяем: ДНС $\tau = 13.35$ Па; ПВ $\eta = 0.0098$ Па*с.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ измерения пластической вязкости ПВ и динамического напряжения сдвига ДНС бурового раствора, включающий получение экспериментальным путем при двух разных значениях задаваемых промежуточных параметров два соответствующих значения ответных промежуточных параметров, на основе которых составляются два линейных уравнения и вычисляются искомые ПВ и ДНС бурового раствора, *отличающийся* тем, что в качестве задаваемых промежуточных параметров принимаются два мерных объема раствора, а в качестве ответных промежуточных параметров - два соответствующих времени их истечения из прибора - измерителя условной вязкости; составление линейных уравнений производится согласно последовательности формул:

$$H_M = \sqrt[3]{\frac{3(V - 0.5V_M)}{\pi K^2}} + L - r_H / K$$

H_M - средняя высота истечения;

V - полный объем жидкости;

V_M - сливаемая часть полного объема;

r_H - диаметр проходного сечения насадки;

L - длина насадки;

K - тангенс угла конусности;

$$\vartheta = \frac{V_M}{\pi r_H^2 T}$$

v - средняя скорость движения раствора по насадке
 T - время истечения сливаемой части полного объема

$$\lambda = \frac{(gH_M - (\vartheta^2 / 2a^2))4r_H}{L\vartheta^2}$$

λ - средний коэффициент гидравлических сопротивлений,

g - ускорение свободного падения

a - коэффициент сжатия потока.

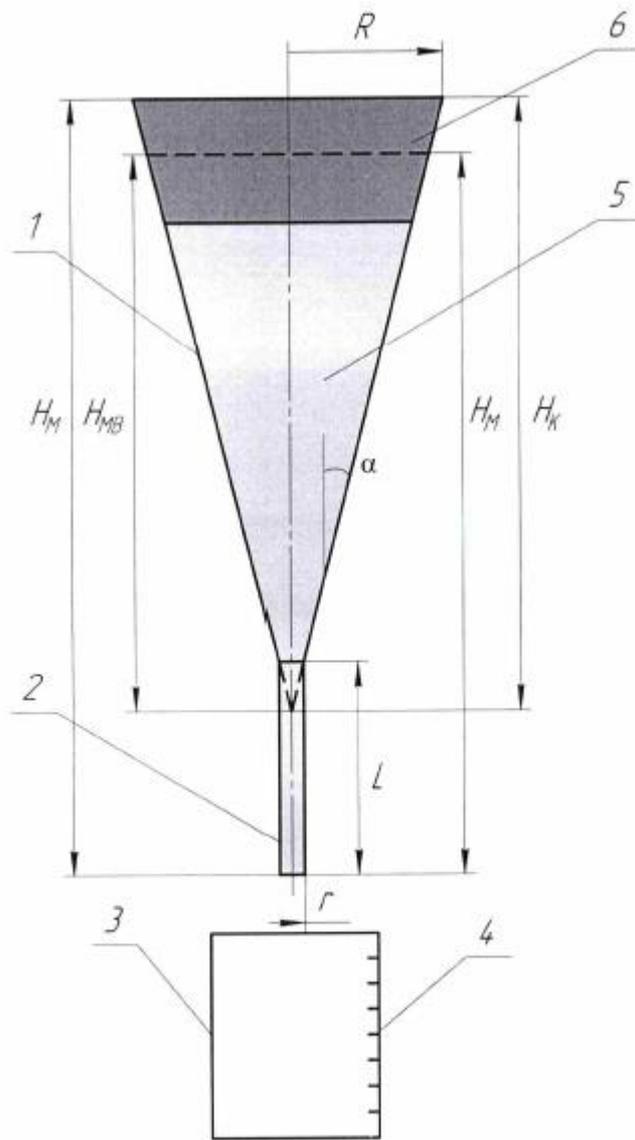
$$Re = 64 / \lambda$$

Re - средний критерий Рейнольдса

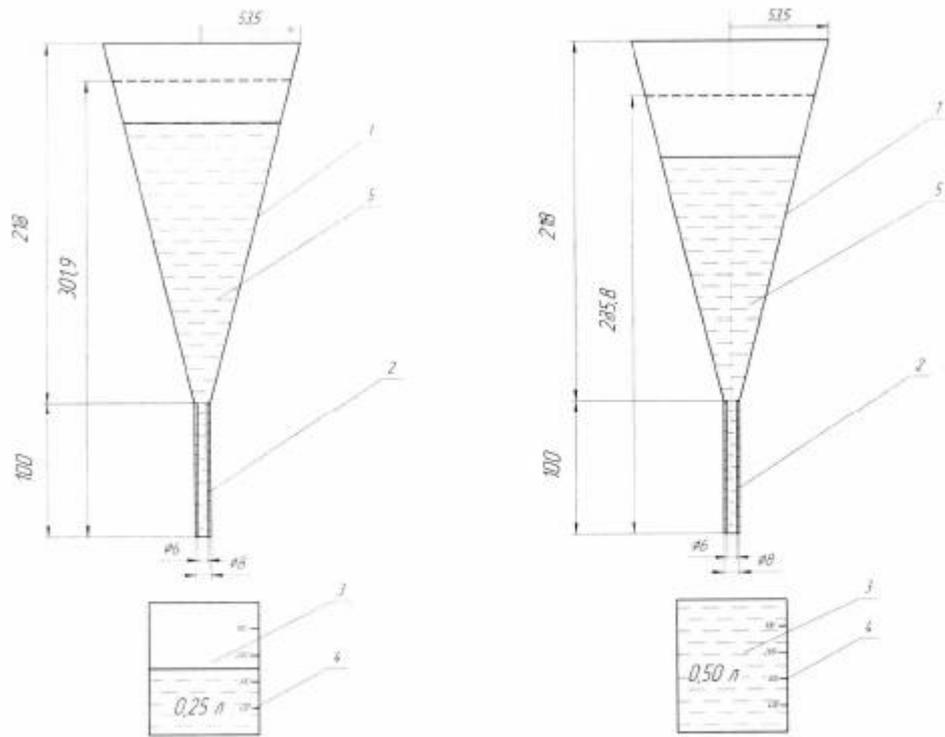
$$\eta + \tau \frac{2r_H}{6\vartheta} = \frac{\rho\vartheta(2r_H)}{Re}$$

η - пластическая вязкость раствора

τ - динамическое напряжение сдвига



Фигура 1



Фигура 2