



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21B 33/14 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021118156, 21.06.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.06.2021

Дата регистрации:
17.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.06.2021

(45) Опубликовано: 17.08.2022 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

142717, Московская обл., Ленинский р-н, пос.
Развилка, пр-д Проектируемый N 5537,
владение 15, стр. 1, ООО "Газпром ВНИИГАЗ",
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Лихущин Александр Михайлович (RU),
Ковалевская Ольга Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"Научно-исследовательский институт
природных газов и газовых технологий -
Газпром ВНИИГАЗ" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1659631 A1, 30.06.1991. RU
2199649 C2, 27.02.2003. RU 2223386 C2,
10.02.2004. RU 2342517 C2, 27.12.2008. RU
2086752 C1, 10.08.1997. KZ 19307 A, 15.04.2008.
US 6957702 B2, 25.10.2005.

(54) Способ цементирования обсадной колонны скважины

(57) Реферат:

Изобретение относится к области бурения нефтяных и газовых скважин и может быть использовано при цементировании обсадных колонн в установившемся режиме. Техническим результатом является повышение качества цементирования и повышение его эффективности за счет сокращения затрат на строительство скважины путем предупреждения возникновения осложнений и затрат на их ликвидацию. Цементирование колонн осуществляется с герметизированным устьем в установившемся режиме. Перед затворением цемента закрывается универсальный превентор (ПУГ), открывается гидравлическая задвижка на рабочей выкидной линии, к блоку задвижек подсоединяется цементировочный агрегат для контроля объема выходящего из скважины раствора. Необходимое противодействие для обеспечения установившегося режима создается в заколонном пространстве на устье скважины с помощью дросселя. Величина противодействия, зависящая от положения нижней границы цементного

раствора в скважине, определяется расчетным путем, с учетом глубины спуска обсадной колонны и расстояния от устья скважины до движущейся нижней границы раздела между цементным и буровым растворами в обсадной колонне, соответственно, высоты столба цементного раствора в обсадной колонне в момент окончания закачки, соответствующей объему, необходимому для цементирования обсадной колонны, давления нагнетания и противодействие на устье скважины, соответственно, плотностей цементного и бурового растворов, соответственно, коэффициентов гидравлических сопротивлений при движении цементного раствора и бурового раствора в обсадной колонне и бурового раствора и цементного раствора в кольцевом заколонном пространстве, скорости движения цементного или бурового раствора в обсадной колонне, диаметров скважины, наружный и внутренний обсадной колонны. 2 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
E21B 33/14 (2022.05)

(21)(22) Application: **2021118156, 21.06.2021**

(24) Effective date for property rights:
21.06.2021

Registration date:
17.08.2022

Priority:

(22) Date of filing: **21.06.2021**

(45) Date of publication: **17.08.2022** Bull. № 23

Mail address:

**142717, Moskovskaya obl., Leninskij r-n, pos.
Razvilka, pr-d Proektiruemyj N 5537, vladenie 15,
str. 1, OOO "Gazprom VNIIGAZ", Patentno-
litsenzionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Likhushin Aleksandr Mikhajlovich (RU),
Kovalevskaya Olga Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu
"Nauchno-issledovatel'skij institut prirodnykh
gazov i gazovykh tekhnologij - Gazprom
VNIIGAZ" (RU)**

(54) **METHOD FOR CEMENTING THE CASING STRING OF A BOREHOLE**

(57) Abstract:

FIELD: petroleum industry.

SUBSTANCE: invention relates to the field of drilling petroleum and gas boreholes and can be used in cementing casing strings in the steady-state mode. Casing strings are cemented with a shut-in wellhead in the steady-state mode. Before tempering the cement, the annular preventer (PUG) is closed, the hydraulic valve in the working flow line is opened, a cementing unit is connected to the valve block in order to control the volume of the solution exiting the borehole. The back pressure required to ensure the steady-state mode is created in the behind-the-casing space at the wellhead by means of a throttle valve. The back pressure value depending on the position of the lower boundary of the cement solution in the borehole is determined by calculation, with account for the depth of descent of the casing string and the distance from the wellhead to the moving lower interface between the cement solution and the drilling mud in the casing string, respectively,

the height of the cement solution column in the casing string at the end of pumping, corresponding to the volume required to cement the casing string; for the injection pressure and back pressure at the wellhead, respectively; the densities of the cement solution and the drilling mud, respectively; the coefficients of hydraulic resistances in the movement of the cement solution and the drilling mud in the casing string and the drilling mud and the cement solution in the annular behind-the-casing space; the speed of the cement solution or drilling mud in the casing string; the diameters of the borehole, the outer and inner casing string.

EFFECT: increase in the quality of cementing and increase in the effectiveness thereof due to the reduction in the borehole construction cost caused by preventing the occurrence of complications and the cost of elimination thereof.

1 cl, 2 dwg

RU 2 778 361 C1

RU 2 778 361 C1

Изобретение относится к области бурения нефтяных и газовых скважин, а именно к технологии цементирования обсадных колонн и может быть использовано при цементировании обсадных колонн в установившемся режиме.

Известен способ цементирования скважины путем закачивания через
 5 цементировочную головку тампонажной и продавочной жидкостей, отделяемых
 разделительной пробкой (см. Соловьев Е.М. Заканчивание скважин. - М.: Недра, 1989
 стр. 165-173). Автор утверждает, что для того чтобы при закачке тампонажного раствора
 в обсадную колонну не происходило снижение его уровня, и не возникал вакуум в
 кольцевом заколонном пространстве, при выходе промывочной жидкости (бурового
 10 раствора) из скважины нужно поддерживать соответствующее противодействие, при
 этом величину противодействия он предлагает рассчитывать исходя из давления на
 момент конца закачки цементного раствора. Критерием отсутствия вакуума на устье,
 по мнению автора, должно быть наличие давления нагнетания цементного раствора.
 Для того чтобы избежать возможного поглощения, предлагается регулировать скорость
 15 восходящего потока, то есть в любой момент цементирования скорость в кольцевом
 заколонном пространстве должна быть меньше предельной скорости, при которой
 сумма статического и гидродинамического давления меньше давления поглощения.
 Однако автор не раскрывает методику контроля и регулирования скорости восходящего
 потока.

20 Недостатком упомянутого выше технического решения является низкое качество
 цементирования из-за невозможности предотвращения возникающих осложнений.

Наиболее близким аналогом к предложенному способу (прототипом) является способ
 цементирования обсадной колонны (патент RU №2199649 E21B 33/14), включающий
 закачку цементного раствора в обсадную колонну, сброс разделительной пробки,
 25 закачку промывочной жидкости и продавливание цементного раствора в заколонное
 пространство, причем перед процессом закачки цементного раствора рассчитывают
 минимальную величину объемного расхода закачки цементного раствора. В данном
 способе разрыв сплошности цементного раствора во время его движения в обсадной
 колонне в нисходящем потоке предлагается предотвратить путем интенсификации
 30 закачки, то есть скорость закачки цементного раствора и продавочной жидкости
 (объемной скорости) должна быть больше скорости его падения (интенсивности
 перетока). При этом интенсивность перетока и скорость закачки определяется
 аналитически - расчетным путем.

Недостатком данного способа является отсутствие контроля за движением
 35 цементного раствора, как в обсадной колонне, так и в заколонном пространстве. Кроме
 того, интенсификация потока цементного раствора в обсадной колонне вызовет
 пропорциональное увеличение скорости восходящего потока бурового раствора в
 кольцевом заколонном пространстве, что неизбежно спровоцирует обрушение
 неустойчивых пород, и как следствие, приведет к большим затратам времени и
 40 материалов на проведение исправительного цементирования.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является
 разработка эффективного способа цементирования обсадной колонны скважины в
 установившемся режиме, который обеспечит качественное заполнение заколонного
 пространства с формированием сплошной цементной оболочки, исключая
 45 обрушение неустойчивых пород и возникновение других осложнений.

Техническим результатом, на достижение которого направлено предлагаемое
 изобретение, является повышение качества цементирования и повышение его
 эффективности за счет сокращения затрат на строительство скважины путем

предупреждения возникновения осложнений и затрат на их ликвидацию.

Указанный технический результат достигается за счет того, что в способе цементирования обсадной колонны скважины в установившемся режиме, который включает герметизацию кольцевого заколонного пространства превентором, соединение выкидной линии кольцевого заколонного пространства через дроссель с мерной емкостью, предназначенной для контроля объема выходящего из скважины бурового раствора, закачку цементного раствора в обсадную колонну, контроль давления в мерной емкости в течение упомянутой закачки цементного раствора, при падении давления в мерной емкости до нуля, создают с помощью дросселя в кольцевом заколонном пространстве противодействие, обеспечивающее движение цементного и бурового растворов с постоянной скоростью в установившемся режиме, при этом расчет величины упомянутого противодействия, обеспечивающего движение цементного и бурового растворов с постоянной скоростью в установившемся режиме в кольцевом заколонном пространстве осуществляют по формуле:

для $0 \leq y \leq \ell - h_0$

$$P_H - P_y = - \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}})g - \frac{\lambda_{\text{цт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} + \frac{\lambda_{\text{рт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{р}} \right] y + \left(\frac{\lambda_{\text{рт}} v^2}{2d_b} + \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \right) \rho_{\text{р}} l$$

для $y \geq \ell, y \geq \ell - h_0$

$$P_H - P_y = \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}}) \left(\frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} + 1 \right) g + \frac{\lambda_{\text{рт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{р}} - \frac{\lambda_{\text{цт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} + \frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} \left(\frac{\lambda_{\text{цк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{ц}} - \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right) \right] y + \left[-(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}})g + \frac{\lambda_{\text{цт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} + \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right] l - \frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} (l - h_0) \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{з}})g + \frac{\lambda_{\text{цк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{ц}} - \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right]$$

где

ℓ и y - глубина спуска обсадной колонны и расстояние от устья скважины до движущейся нижней границы раздела между цементным и буровым растворами в

обсадной колонне, соответственно;

h_0 - высота столба цементного раствора в обсадной колонне в момент окончания закачки, соответствующая объему, необходимому для цементирования обсадной колонны;

5 P_H и P_Y - давление нагнетания и противодействие на устье скважины, соответственно;

$\rho_{ц}$ и ρ_p - плотности цементного и бурового растворов, соответственно;

$\lambda_{цт}$, $\lambda_{рт}$ и $\lambda_{рк}$, $\lambda_{цк}$ - коэффициенты гидравлических сопротивлений при движении цементного раствора и бурового раствора в обсадной колонне, и бурового раствора и цементного раствора в кольцевом заколонном пространстве, соответственно;

v - скорость движения цементного или бурового раствора в обсадной колонне;

d_c , d_H и d_b - диаметры: скважины, наружный и внутренний обсадной колонны, соответственно;

g - ускорение свободного падения.

15 С увеличением объема цементного раствора, закаченного в обсадную колонну, давление на цементировочном агрегате (например, ЦА-320) постепенно снижается до атмосферного, после чего происходит отрыв части столба цементного раствора под действием сил, обусловленных разностью плотностей бурового и цементного растворов. Далее происходит самопроизвольное неконтролируемое увеличение скорости
20 цементного раствора в обсадной колонне, которое в свою очередь вызывает пропорциональное увеличение скорости движения бурового раствора в заколонном пространстве скважины.

Увеличение скорости движения цементного раствора в обсадной колонне, сопровождающееся соответствующим увеличением скорости восходящего потока бурового раствора в затрубном пространстве, приводит к потере устойчивости
25 глинистых пород, выносу шлама из каверн и возникновению таких осложнений как преждевременное загустевание цементного раствора, ошибки при определении объема продажной жидкости, увеличение зоны смешивания бурового и цементного раствора. Ликвидации осложнений такого рода требует больших затрат времени и материалов,
30 а иногда приводит к ликвидации скважины.

Кроме того, на верхней границе раздела цементного и бурового раствора под разделительной пробкой образуется воздушная «пробка» с давлением ниже атмосферного. Расчеты показывают, что для того чтобы догнать убегающий столб цементного раствора, необходимо закачивать его со скоростью более 4 м/с, что
35 технически возможно, но экономически нецелесообразно. Образовавшийся вакуум является причиной затрудненного отворота стопорных штырей при проведении подготовительных работ перед пуском разделительной пробки, до такой степени, что приходится открывать кран на цементировочной головке для компенсации давления. Так как столб цементного раствора в рассматриваемом случае перемещается при
40 максимальных критических скоростях, то образующаяся воздушная пробка займет значительный первоначальный объем. Этот объем не уменьшится до тех пор, пока столб цементного раствора не переместится в заколонное пространство и не уравнивает давление в обсадной колонне. Конечный объем воздушной пробки будет зависеть от давления, образующегося в колонне в момент посадки разделительной пробки в опорное
45 кольцо (кольцо-«стоп») после вытеснения всего столба цементного раствора в заколонное пространство.

Расчеты и практика показывают, что воздушная пробка даже в конечном сжатом состоянии может занимать существенный объем, что усложнит при цементировании

неглубоких скважин, а также скважин, где существует опасность поглощения цементного раствора, определение момента «стоп» и может привести к оголению башмака колонны.

В предлагаемом способе цементирования обсадной колонны скважины путем контроля и регулирования противодействия в заколонном пространстве на устье скважины на протяжении всего процесса обеспечивается необходимая постоянная скорость движения цементного и бурового растворов, то есть установившийся режим. Буровой раствор, как правило, используют в качестве продавочной жидкости.

Под установившимся движением в гидродинамике понимается движение, при котором скорость и давление в каждой данной точке пространства, заполненного движущейся жидкостью, остаются все время постоянными (но могут меняться при переходе от одной точки пространства к другой), то есть движение, постоянное во времени, изменяющееся в пространстве, при котором скорость и давление зависят только от координат движущейся жидкой частицы, т.е. от ее положения в пространстве, и не зависят от времени. Таким образом, при установившемся движении

$$v = f_1(x, y, z)$$

$$p = f_2(x, y, z)$$

Другими словами, при установившемся режиме из скважины выходит ровно столько жидкости, сколько в нее закачали. При этом обеспечивается сплошность потока цементного раствора, отсутствует инерционная составляющая, поскольку равномерное движение происходит без ускорения, гидродинамика минимальна, что сохранит неустойчивые пласты, исключит поглощение и другие осложнения.

Изобретение поясняется чертежами.

На фиг. 1 показана схема обвязки устья скважины.

На фиг. 2. показана зависимость разности давления нагнетания и противодействия на устье скважины от объема цементного раствора или продавочной жидкости, закачиваемых в колонну.

На чертеже элементы обозначены следующими позициями: цементировочная головка 1, превентор универсальный (ПУГ) 2, блок задвижек 3, дроссель 4, мерная емкость 5 цементировочного агрегата, обсадная колонна 6, буровой раствор 7, цементный раствор 8, заколонное пространство 9.

Способ цементирования скважин в неустойчивых породах в установившемся режиме осуществляют следующим образом.

В соответствии с предложенным способом в скважине, например, газовой или скважине подземного хранилища газа (ПХГ) цементирование обсадных колонн 6 осуществляют с герметизированным устьем. Герметизацию устья осуществляют превентором универсальным (ПУГ) 2. Перед затворением цемента закрывают универсальный превентор (ПУГ) 2, открывают дроссель 4 в блоке задвижек 3 на рабочей выкидной линии. К блоку задвижек 3 подсоединяют мерную емкость 5 цементировочного агрегата, предназначенную для контроля объема выходящего из скважины бурового раствора 7. Блок задвижек 3 входит в стандартное противовыбросовое оборудование и предназначен для контроля давления и регулирования, в том числе по направлению потока жидкости, выходящей из заколонного пространства на поверхность.

При отсутствии станции контроля цементирования (СКЦ) контроль объема бурового раствора 7, выходящего из заколонного пространства 9 скважины, позволяет получить информацию об объеме закаченного цементного раствора 8, то есть о местоположении нижней его границы в обсадной колонне 6 на текущий момент. Остальную тампонажную технику обвязывают с цементировочной головкой 1 и устанавливают стандартным образом.

Необходимое противодействие создают в заколонном пространстве 9 на устье скважины с помощью дросселя 4. В процессе цементирования плавным регулированием степени открытия дросселя 4 на блоке задвижек 3 создают необходимое противодействие в заколонном пространстве 9 в соответствии с расчетом.

5 Сразу после прекращения закачивания расчетного объема цементного раствора 8 дроссель 4 закрывают. Устье скважины полностью герметизируют на время подготовительных работ перед пуском разделительной пробки.

Контроль давления нагнетания и давления в заколонном пространстве 9 (на устье скважины) осуществляется в течение всего процесса цементирования. Давление в
10 заколонном пространстве 9 на устье скважины регулируют с момента начала закачки цементного раствора и контролируют при его движении по всей длине обсадной колонны 6. В связи с этим расчет выполняется для каждого положения столба цементного раствора 8 в обсадной колонне 6, то есть расстояния от его верхней границы до устья скважины с интервалом 10 метров. Каждому вычисленному значению соответствует
15 определенный объем цементного раствора 8 (при затворении цемента) или продавочной жидкости (в процессе продавки).

Регулирование величины противодействия в заколонном пространстве 9 скважины осуществляется следующим образом.

С момента начала закачки цементного раствора в колонну оператор
20 цементировочного агрегата фиксирует объем поступившего бурового раствора 7 в мерную емкость 5 (например, мерник ЦА-320М), обвязанную с блоком задвижек 3. Поскольку режим движения - установившийся, то количество выходящего из скважины бурового раствора 7 совпадает с количеством закачанного в колонну цементного раствора 8. Информация о количестве выходящего бурового раствора от оператора
25 цементировочного агрегата поступает к технологу, который находится у блока задвижек 3 с установленным на нем манометром. У технолога имеется расчет, выполненный на персональном компьютере. Данный расчет служит приложением к стандартному плану работ.

При получении информации о падении давления до нуля на манометре, который
30 установлен на цементировочной головке 1, то есть давление нагнетания уменьшилось до атмосферного, начинают осуществлять закачку цементного раствора 8 в объеме q' , при этом путем регулирования закачки цементного раствора с помощью дросселя 4 создают противодействие в заколонном пространстве. По мере увеличения объема цементного раствора с помощью дросселя 4 увеличивается величина противодействия,
35 которая достигает своего максимума P_{ymax} после закачки всего объема цементного раствора q_4 в обсадную колонну. В этот момент пускают цементировочную пробку. На время подготовительных работ к пуску пробки, устье скважины полностью герметизируется (движение бурового раствора по заколонному пространству 9 скважины не происходит).

40 В момент пуска цементировочной пробки с помощью дросселя 4 устанавливается давление P_{ymax} , которое поддерживается постоянным до момента достижения цементным раствором башмака колонны.

Выход цементного раствора в заколонное пространство сопровождается
45 уменьшением противодействия, которое после закачки в скважину объема q^{11} цементного раствора и продавочной жидкости становится равным нулю, то есть регулировочная задвижка и ПУГ полностью открываются. Далее процесс цементирования осуществляется по стандартной технологии.

Зависимость разности давления нагнетания P_H и давления в заколонном пространстве P_y (противодавление) от объема жидкости, закачанной в колонну q с регулируемым на устье противодавлением приведены на фиг. 2.

На Фиг. 2 приняты следующие обозначения:

P_0 - давление в начале закачки цементного раствора;

P_K - давление в конце продавки продавочной жидкостью цементного раствора;

$P_{y_{max}}$ - максимальное противодавление на устье в заколонном пространстве, равное давлению в конце продавки;

y_0 - высота столба закачиваемого цементного раствора объемом q^1 , при которой давление нагнетания становится равным нулю, после чего создается регулируемое противодавление в заколонном пространстве; y_0^1 - соответствует объему продавочной жидкости q^{11} , после закачки которого необходимо полностью открыть задвижку на заколонном пространстве;

q^{11} - общий объем цементного раствора и продавочной жидкости, после закачки которого давление в обсадной колонне и за обсадной колонной выравнивается;

h_0 - высота столба цементного раствора после закачки расчетного объема $q_{ц}$ цементного раствора; l - соответствует объему продавочной жидкости $q_{пр}$, после закачки которого цементный раствор достигает башмака колонны;

q_0 - суммарный объем продавочной жидкости и цементного раствора, используемых при цементировании, ($q_0 = q_{пр} + q_{ц}$).

Расчет необходимой величины противодавления производится по формулам:

для $0 \leq y \leq \ell - h_0$

$$P_H - P_y = - \left[(\rho_{ц} - \rho_p)g - \frac{\lambda_{цт} v^2}{2d_b} \rho_{ц} + \frac{\lambda_{пт} v^2}{2d_b} \rho_p \right] y + \left(\frac{\lambda_{пт} v^2}{2d_b} + \frac{\lambda_{рк} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \right) \rho_p l$$

при $y \geq \ell, y \geq \ell - h_0$

$$\begin{aligned}
P_H - P_y = & \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}}) \left(\frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} + 1 \right) g + \frac{\lambda_{\text{рт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{р}} - \frac{\lambda_{\text{цт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} \right. \\
& + \frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} \left(\frac{\lambda_{\text{цк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{ц}} \right. \\
& \left. \left. - \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right) \right] y \\
& + \left[-(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}}) g + \frac{\lambda_{\text{цт}} v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} + \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right] l \\
& - \frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} (l - h_0) \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{з}}) g + \frac{\lambda_{\text{цк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{ц}} \right. \\
& \left. - \frac{\lambda_{\text{рк}} d_b^4 v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right]
\end{aligned}$$

где

ℓ и y - глубина спуска обсадной колонны и расстояние от устья скважины до движущейся нижней границы раздела между цементным и буровым растворами в обсадной колонне, соответственно;

h_0 - высота столба цементного раствора в обсадной колонне в момент окончания закачки, соответствующая объему, необходимому для цементирования обсадной колонны;

P_H и P_y - давление нагнетания и противодействие на устье скважины, соответственно;

$\rho_{\text{н}}$ и $\rho_{\text{р}}$ - плотности цементного и бурового растворов, соответственно;

$\lambda_{\text{цт}}$, $\lambda_{\text{рт}}$ и $\lambda_{\text{рк}}$, $\lambda_{\text{цк}}$ - коэффициенты гидравлических сопротивлений при движении цементного раствора и бурового раствора в обсадной колонне, и бурового раствора и цементного раствора в кольцевом заколонном пространстве, соответственно;

v - скорость движения потока жидкости (цементного или бурового раствора, используемого в качестве продавочной жидкости) в обсадной колонне;

d_c , d_H и d_b - диаметры: скважины, наружный и внутренний обсадной колонны, соответственно;

g - ускорение свободного падения.

Пример осуществления способа.

Эксплуатационная обсадная колонна была спущена на глубину 130 метров в ствол скважины диаметром 215,9 мм. Предыдущая колонна диаметром 245 мм была спущена на глубину 950 метров. Бурение осуществлялось с промывкой буровым раствором плотностью 1200 кг/м³, условной вязкостью 35-40 секунд, водоотдачей 8 см³/ за 30 мин., корка 1 мм. В соответствии с проектом и планом работ на крепление планировалось затворить и закачать 15 тонн цемента с его подъемом до 500 м от устья.

В качестве дополнения к стандартному плану работ было рассчитано необходимое противодействие в зависимости от глубины нахождения нижней границы цементного раствора, объем которого контролировался с помощью мерной емкости

цементировочного агрегата (мерника). Цементирование осуществлялось с устьем скважины, герметизированным с помощью универсального превентора. Превентор был закрыт перед началом работ, дроссель открыт полностью, так как в начале цементирования в соответствии с расчетом противодействие не создается. Приступили к затворению цемента и закачиванию его в обсадную колонну. Давление нагнетания постепенно стало снижаться, а после закачивания $1,25 \text{ м}^3$ цементного раствора, что было отмечено в мерной емкости цементировочного агрегата, упало до нуля. С этого момента в заколонном пространстве скважины с помощью дросселя начали поддерживать расчетное противодействие в зависимости от количества закачанного цементного раствора. В диапазоне давлений 0-3,0 МПа давление на дросселе через каждый 1 м^3 в среднем повышали на 0,4 МПа. После закачивания планового объема цементного раствора $9,6 \text{ м}^3$, дроссель закрыли полностью, движение цементного раствора в обсадной колонне прекратилось. Давление на дросселе составило 3,0 МПа, что соответствовало расчетному. После отворота стопорных винтов цементировочной головки, которые отвернулись без усилий, так как в обсадной колонне вакуума не было, пустили разделительную цементировочную пробку с одновременным открытием дросселя и стравливанием давления до 2,8 МПа.

Далее, при постоянном противодействии закачали 10 м^3 продавочной жидкости, что соответствовало достижению нижней границы цементного раствора башмака колонны. Когда цементный раствор начал перемещаться в заколонное пространство, приступили к снижению давления на дросселе. После закачивания еще $2,5 \text{ м}^3$ продавочной жидкости, в качестве которой использовали буровой раствор, начался рост давления нагнетания, открыли превентор. Дальнейшее цементирование осуществлялось с ростом давления нагнетания, как и по стандартной технологии. В процессе продавки гидроударов, которые соответствуют обычно моменту достижения буровым раствором верхней границы цементного раствора, не было. После окончания продавки на определение момента «стоп» было затрачено сверх расчетного объема продавочной жидкости 150 литров бурового раствора, в то время как по стандартной технологии перекачивается до $1,5 \text{ м}^3$ продавочной жидкости. При определении качества цементирования методом акустической цементометрии (АКЦ) было отмечено наличие 79% сплошного цементного камня, сплошного + частичного - 10%, в то время как в базовых скважинах сплошного и частичного цементного камня фиксируется не более 40%.

Заявленный способ цементирования обсадной колонны скважины обеспечивает в неустойчивых породах в установившемся режиме повышение качества цементирования и повышение его эффективности за счет сокращения затрат на строительство скважины путем предупреждения возникновения осложнений и затрат на их ликвидацию.

(57) Формула изобретения

Способ цементирования обсадной колонны скважины в установившемся режиме, включающий герметизацию кольцевого заколонного пространства превентором, соединение выкидной линии кольцевого заколонного пространства через дроссель с мерной емкостью, предназначенной для контроля объема выходящего из скважины бурового раствора, закачку цементного раствора в обсадную колонну, контроль давления в мерной емкости в течение упомянутой закачки цементного раствора, причем при падении давления в мерной емкости до нуля, создают с помощью дросселя в

кольцевом заколонном пространстве противодавление, обеспечивающее движение цементного и бурового растворов с постоянной скоростью в установившемся режиме, при этом расчет величины упомянутого противодавления, обеспечивающего движение цементного и бурового растворов с постоянной скоростью в установившемся режиме
 5 в кольцевом заколонном пространстве осуществляют по формуле:

для $0 \leq y \leq \ell - h_0$

$$P_H - P_y = - \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}})g - \frac{\lambda_{\text{цт}}v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} + \frac{\lambda_{\text{рт}}v^2}{2d_b} \rho_{\text{р}} \right] y$$

$$+ \left(\frac{\lambda_{\text{рт}}v^2}{2d_b} + \frac{\lambda_{\text{рк}}d_b^4v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \right) \rho_{\text{р}}l$$

15 для $y \geq \ell, y \geq \ell - h_0$

$$P_H - P_y = \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}}) \left(\frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} + 1 \right) g + \frac{\lambda_{\text{рт}}v^2}{2d_b} \rho_{\text{р}} - \frac{\lambda_{\text{цт}}v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} \right.$$

$$+ \frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} \left(\frac{\lambda_{\text{цк}}d_b^4v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{ц}} \right.$$

$$- \left. \frac{\lambda_{\text{рк}}d_b^4v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right) \left. \right] y$$

$$+ \left[-(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}})g + \frac{\lambda_{\text{цт}}v^2}{2d_b} \rho_{\text{ц}} + \frac{\lambda_{\text{рк}}d_b^4v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right] l$$

$$- \frac{d_b^2}{d_c^2 - d_H^2} (l - h_0) \left[(\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}})g + \frac{\lambda_{\text{цк}}d_b^4v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{ц}} \right.$$

$$- \left. \frac{\lambda_{\text{рк}}d_b^4v^2}{2(d_c - d_H)(d_c^2 - d_H^2)^2} \rho_{\text{р}} \right]$$

где

ℓ и y - глубина спуска обсадной колонны и расстояние от устья скважины до движущейся нижней границы раздела между цементным и буровым растворами в обсадной колонне, соответственно;

40 h_0 - высота столба цементного раствора в обсадной колонне в момент окончания закачки, соответствующая объему, необходимому для цементирования обсадной колонны;

P_H и P_y - давление нагнетания и противодавление на устье скважины, соответственно;

45 $\rho_{\text{ц}}$ и $\rho_{\text{р}}$ - плотности цементного и бурового растворов, соответственно;

$\lambda_{\text{цт}}$, $\lambda_{\text{рт}}$ и $\lambda_{\text{рк}}$, $\lambda_{\text{цк}}$ - коэффициенты гидравлических сопротивлений при движении цементного раствора и бурового раствора в обсадной колонне и бурового раствора и цементного раствора в кольцевом заколонном пространстве, соответственно;

v - скорость движения цементного или бурового раствора в обсадной колонне;
 d_c , d_n и d_b - диаметры: скважины, наружный и внутренний обсадной колонны,
соответственно;
 g - ускорение свободного падения.

5

10

15

20

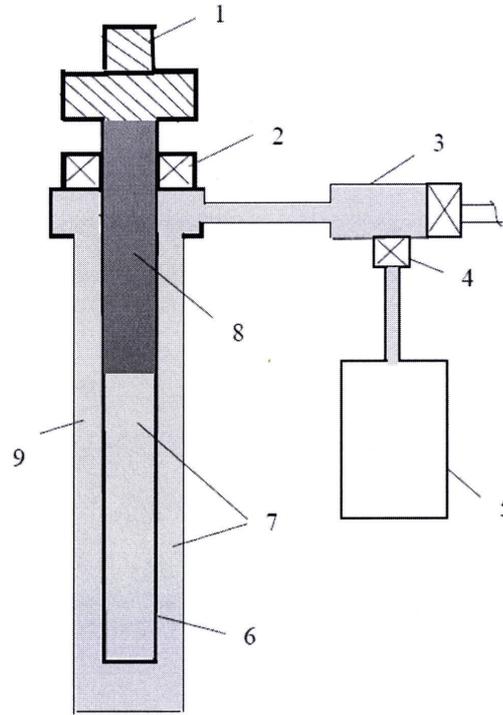
25

30

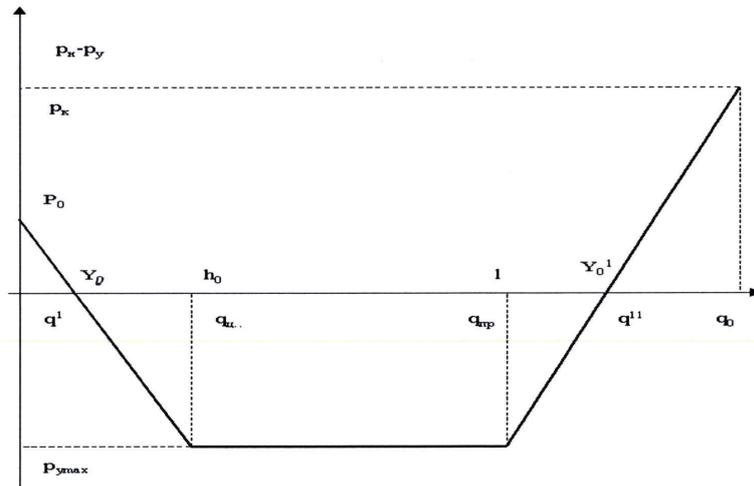
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2