

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2475622

СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011134125

Приоритет изобретения **12 августа 2011 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 февраля 2013 г.**

Срок действия патента истекает **12 августа 2031 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2475622**

(13) **C1**

(51) МПК
E21B33/13 (2006.01)
C09K8/56 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2011134125/03, 12.08.2011**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: **12.08.2011**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **12.08.2011**

(45) Опубликовано: **20.02.2013**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **SU 1624125 A1, 30.01.1991. RU 2236559 C1, 20.09.2004. RU 2108455 C1, 10.04.1998. RU 2111351 C1, 20.05.1998. RU 2338768 C1, 20.11.2008. US 2004107877 A1, 10.06.2004. US 20010032723 A1, 25.10.2001.**

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2, ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный горный университет", отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий (отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

**Тананыхин Дмитрий Сергеевич (RU),
Петухов Александр Витальевич (RU),
Сюзов Олег Борисович (RU),
Никитин Марат Николаевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)

(54) СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

(57) Реферат:

Изобретение относится к газодобывающей промышленности, в частности к способам крепления призабойной зоны продуктивного пласта. Технический результат - повышение эффективности крепления путем создания устойчивого объемного осадка при максимальном сохранении емкостных и фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта, а также расширение ассортимента химических реагентов при осуществлении способа. Способ крепления призабойной зоны продуктивного пласта включает последовательную закачку в пласт через добывающую скважину водного раствора соли металла, а в качестве тампонирующего состава - водного раствора хлористого кальция с образованием в пластовых условиях нерастворимого в воде соединения - объемного осадка. При этом закачку растворов производят в соответствии со стехиометрическими коэффициентами, обеспечивающими наибольший выход осадка. В качестве водного раствора соли металла используют водный раствор гидрокарбоната натрия с концентрацией 10-20 мас.%. 2 табл.

Изобретение относится к газодобывающей промышленности, в частности к способам крепления призабойной зоны продуктивного пласта.

Анализ существующего уровня техники показал следующее.

Известен способ крепления призабойной зоны пласта путем закачки наполнителя и связывающего агента (см. а.с. № 1168700 от 27.08.81 г. 11, кл. E21B 33/13, опубл. в БИ № 27, 1985 г.). В качестве наполнителя в призабойную зону закачивают битуминозный песчаник, а в качестве связывающего агента - дизельные или масляные щелочные отходы и водный раствор хлористого кальция. Битуминозный песчаник предварительно обрабатывают и закачивают в пласт в смеси с дизельными или масляными щелочными отходами при соотношении их объемов соответственно 1:3, после чего последовательно закачивают разделительную жидкость - воду в объеме 0,25-0,5 м³, 10%-ный водный раствор хлористого кальция в объеме, равном объему щелочных отходов, и продавочную жидкость - воду в объеме насосно-компрессорных труб, а предварительную обработку битуминозного песчаника осуществляют путем смешения породы с дизельными или масляными щелочными отходами с последующим сливом и добавлением 0,5-1%-ного водного раствора хлористого кальция, перемешиванием смеси в течение 2-3 мин, после чего раствор хлористого кальция сливают и породу промывают водой.

Недостатком указанного способа является неэффективность крепления из-за невысокой прочности сформированного песчаного барьера и снижение емкостных и фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта. Обусловлено это тем, что прочность созданного песчаного барьера обеспечивается связующим материалом из битума и продуктов реакции между дизельными или масляными щелочными отходами и хлористым кальцием. Битум и кальциевые мыла, получаемые в результате этой реакции, являются термопластичными материалами и не связывают песок в прочный конгломерат. К тому же при температурах выше 30°C эта связка размягчается и не обеспечивает надежного закрепления призабойной зоны пласта.

Известен способ крепления призабойной зоны пласта, согласно которому производят перфорацию обсадной колонны в размытом интервале призабойной зоны, закачивают в заколонное пространство через перфорационные отверстия кварцевый песок, затем силикат щелочного металла (натрия, калия и др.) и спиртовой раствор соли кальция (гидрат хлорида кальция, хелатный кальций и другие соли кальция, растворимые в спирте) для создания сохраняющего проницаемость цемента, который связывает песок (см. патент США № 5101901 от 03.12.90 г., кл. E21B 33/13, 43/04, 43/12, опубл. 07.04.92 г.). Используют силикат щелочного металла с молярным соотношением SiO₂/M₂O 0,5-2 и содержанием в растворе в количестве 10-60 вес.%, соль кальция с содержанием в растворе в количестве 10-40 вес.%.

Недостатком указанного способа является недостаточная эффективность крепления из-за невысокой прочности сформированного песчаного барьера и снижение емкостных и фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта. Это обусловлено следующим: после намыва песка в контактных зонах между частицами остается жидкость-носитель в виде пленок и тонких прослоек. При закачивании водного раствора силиката щелочного металла он идет по пути наименьшего сопротивления, заполняет в первую очередь крупные поры и не может заполнить капиллярные зоны и вытеснить эти пленки из-за их прочной связи с поверхностью песка. Снижается число контактных связей, из-за чего сформированный песчаный барьер имеет небольшую прочность. При этом водный раствор силиката щелочного металла может вымываться последующими технологическими жидкостями в начале его ввода.

Известен способ изоляции водопритоков в газовых скважинах, включающий закачку через насосно-компрессорные трубы цементного раствора при сохранении в затрубном пространстве скважины уровня жидкости на определенной глубине (см. патент SU 1758219 A2, E21B 43/32, 1992).

Сложность в осуществлении непрерывного контроля за уровнем жидкости в затрубном пространстве скважины и отсутствие контроля за процессом закачки цементного раствора при наличии в скважине пакера ограничивают применение указанного способа на многих газовых и газоконденсатных месторождениях.

Известен способ разработки обводненной нефтяной залежи, суть которого заключается в закачке в пласт через нагнетательную скважину водного раствора хлорида алюминия с последующей закачкой щелочного раствора (см. патент РФ 2039224, кл. E21B 43/24, 1994).

Недостатком данного способа является кратковременность эффекта, так как при последующей закачке вытесняющего агента происходит размывание и вытеснение осадка.

Известен способ изоляции притока пластовых вод, включающий последовательную закачку в пласт солей многоосновной кислоты и солей щелочно-земельных металлов в виде раствора или суспензии (см. патент РФ 2108455, кл. E21B 43/32, 1998).

Недостатком данного способа является ограниченность его применения по проницаемости коллекторов.

Наиболее близким решением, взятым за прототип, является способ селективной обработки пласта, включающий последовательную закачку в пласт буферной жидкости - водного раствора соли металла и тампонирующего состава с образованием в пластовых условиях с ионами кальция нерастворимое в воде соединение - щелочной осадок. В качестве водного раствора используют соли металла 10-30% водный раствор гидросульфата натрия, а в качестве тампонирующего состава - водный раствор хлористого кальция, закачку каждого из указанных растворов производят равными порциями, объемы которых определяют исходя из толщины продуктивного пласта и диаметра скважины или скорости поглощения закачиваемых растворов (см. патент RU 2236559, МПК E21B 33/138, 2004).

Недостатком данного способа является недостаточная продолжительность эффекта из-за низкой устойчивости изолирующего экрана к размыванию.

Техническим результатом изобретения является повышение эффективности крепления путем создания устойчивого объемного осадка при максимальном сохранении емкостных и фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта, а также расширение ассортимента химических реагентов при осуществлении способа.

Технический результат достигается тем, что в известном способе крепления призабойной зоны продуктивного пласта газовых скважин, включающем последовательную закачку в пласт через добывающие скважины водных растворов реагентов с образованием в пластовых условиях нерастворимого в воде соединения -объемного осадка, используют в качестве водного раствора соль металла 10-20% водный раствор гидрокарбоната натрия, а в качестве тампонирующего состава - водный раствор хлористого кальция, закачку каждого из указанных растворов производят в соответствии со стехиометрическими коэффициентами, обеспечивающими наибольший выход осадка. Объемы растворов определяют исходя из толщины продуктивного пласта и диаметра скважины, а также ввиду необходимости полного заполнения порового заколонного пространства продуктивного пласта на расстоянии до 0,60 м от скважины.

Освоение скважины производят без выдержки на реагирование в пласте, так как реагирование в точечном объеме порового канала происходит мгновенно.

Закачку растворов в пласт производят как в остановленной, так и в работающей скважине. Для доставки растворов в заданную зону перфорации скважины и обеспечения расчетной скорости закачки используют кол-тюбинг.

Сущность предлагаемого способа состоит в следующем.

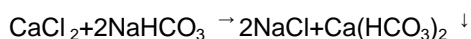
При строительстве скважины, а также в процессе эксплуатации приствольная зона продуктивного пласта испытывает гидродинамические и механические воздействия при содействии этому горного давления. Поэтому вокруг ствола скважины на расстоянии до 0,60 м от обсадной колонны возникают дефекты структуры и трещины. При слабом цементирующем веществе (глина, гипс) песчаник в этой зоне в процессе эксплуатации скважины разрушается с выносом песка вместе с газом в скважину.

Способ проверен в лабораторных условиях. Для лабораторных исследований в поровой среде использовались насыпные модели, приготовленные из рыхлых девонских песчаников, отобранных из обнажений коренных пород.

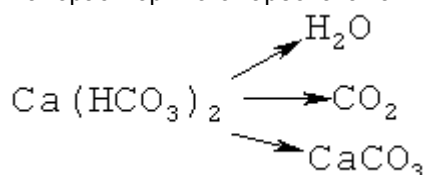
Через насыпную модель осуществляли последовательную прокачку водного раствора гидрокарбоната натрия и, в качестве тампонирующего состава, водный раствор хлористого кальция. В результате реакции ионы кальция образуют нерастворимое в воде соединение, т.е. в поровом объеме образуется закупоривающий осадок в виде тонкодисперсной взвеси, а на стенках поровых каналов в виде твердых микрокристаллов. Закачку каждого из указанных растворов производят равными порциями. Предполагается, что полученный в пластовых условиях осадок также препятствует прорыву пластовых вод, путем изоляции водопроявляющих участков пласта устойчивым в воде осадком, за счет этого происходит подключение в разработку застойных и слабодренлируемых зон пласта.

Объемы растворов определяют по обычной методике исходя из выбранного условного радиуса обработки призабойной зоны, эффективной мощности пласта и пористости коллектора.

Описанные химические процессы проходят по следующей схеме:



Дальнейший распад водного раствора $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ также способствует отверждению осадка с образованием малорастворимого карбоната кальция по схеме:



Однако эта жидкость не загрязняет продуктивный пласт, т.к. при освоении скважины будет вынесена вместе с газом. Благодаря этому сохраняются емкостные и фильтрационные характеристики продуктивного пласта.

Оптимальные соотношения сухого вещества в растворах определяли стехиометрическими расчетами реакции с вычислением массовых долей, например:

для приготовления 100 мл 21,8% водного раствора CaCl_2 необходимо 20 г CaCl_2 и 92 мл H_2O , т.к. $\rho(\text{CaCl}_2) = 2,51 \text{ г/см}^3$.

Молярная масса $M(\text{CaCl}_2) = 111 \text{ г/моль}$; $M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г/моль}$, следовательно для нейтрализации хлористого кальция необходимо

$$m(\text{NaHCO}_3) = \frac{111}{168} \cdot m(\text{CaCl}_2),$$

следовательно, $m(\text{NaHCO}_3) = 13,26 \text{ г}$ и $93,86 \text{ мл H}_2\text{O}$,

т.к. $\rho(\text{NaHCO}_3) = 2,16 \text{ г/см}^3$.

После каждой прокачки проводилось определение проницаемости по газу по формуле:

$$K_{пр} = (Q \cdot \mu \cdot L) / (F \cdot dP),$$

где Q - объем газа, прокаченного через модель;

μ - динамическая вязкость газа;

L - длина модели;

F- площадь сечения модели;

dP - разность давлений.

Лабораторный эксперимент проводился по следующей методике:

- 1) Подготовили насыпную модель из фракций песчаника 0,1-0,25 мм с добавлением 4% глины;
- 2) Замерили проницаемость до эксперимента. Она составила $K_{пр}=4,1$ мкм²;
- 3) Прокачали 170 мл 20% водный раствор CaCl₂ примерно 6 V_{пор} (V_{пор}=28 мл);
- 4) Прокачали 210 мл водного раствора NaHCO₃;
- 5) Провели просушку при низких расходах газа, примерно при 2 psi (0,13 атм);
- 6) Замер проницаемости после прокачки реагентов осуществляли при P=2,04; 4,08; 6,46 атм;
- 7) Проводили последовательное увеличение расхода газа через модель с целью определения обнаружения минимального давления начала выноса песка. Полученные результаты представлены в фиг.1.
- 8) Насыщение насыпной модели пласта водой при P=0,34 атм в течение 120 мин.
- 9) Прокачка воды при увеличении давления.

Полученные результаты представлены в фиг.2.

Характеристикой продуктивного пласта может являться проницаемость, как по газу, так и по воде. Критерием для оценки служит коэффициент пропорциональности между значениями проницаемости до и после создания прокачки реагентов. Коэффициент сохранения проницаемости продуктивного пласта $K_{пр}$ рассчитывают по формуле

$$K_{пр} = K_{2пр}/K_{1пр},$$

где $K_{1пр}$ - проницаемость продуктивного пласта до прокачки реагентов, мкм²;

$K_{2пр}$ - проницаемость продуктивного пласта после прокачки реагентов, мкм².

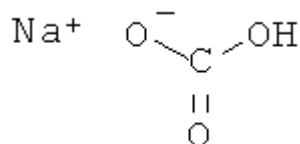
Чем больше значение $K_{пр}$, тем лучше сохранены фильтрационные свойства пласта после проведения работ по креплению.

Для реализации данного способа используются доступные реагенты и вещества отечественного производства.

Хлористый кальций (ГОСТ 450-77) - бесцветные кристаллы плотностью 2,51 г/см³, $t_{пл}=112^{\circ}\text{C}$. Обладает высокими гигроскопическими свойствами. Растворимость (г на 100 г H₂O):74 (20°C) и 159 (100°C).

Допустимо применение плавленного, соответствующего формуле CaCl₂·2H₂O с содержанием сухого вещества 66-70%, и хлористого кальция безводного, порошкообразного.

Гидрокарбонат натрия NaHCO₃ (ГОСТ 2156-76) (другие названия: питьевая сода, пищевая сода, бикарбонат натрия, натрий двууглекислый) - кристаллическая соль, однако чаще всего она встречается в виде порошка тонкого помола белого цвета. Химическая формула



Двууглекислый натрий не токсичен, пожаро- и взрывобезопасен. Молекулярная масса (по международным атомным массам 1971 г.) - 84,00

Предложенный состав может готовиться в заводских условиях. Является пожаро- и взрывобезопасным. По воздействию на организм относится к веществам малоопасным и может быть широко применен на газовых промыслах.

Формула изобретения

Способ крепления призабойной зоны продуктивного пласта, включающий последовательную закачку в пласт через добывающую скважину водного раствора соли металла, а в качестве тампонирующего состава - водный раствор хлористого кальция с образованием в пластовых условиях нерастворимого в воде соединения - объемного осадка, отличающийся тем, что закачку растворов производят в соответствии со стехиометрическими коэффициентами, обеспечивающими наибольший выход осадка, а в качестве водного раствора соли металла используют водный раствор гидрокарбоната натрия с концентрацией 10-20 мас. %.

Давление, psi (атм)	Время обработки, с	Выход жидкости	Вынос песка
Замер проницаемости модели по газу: $K_{пр}=0,526 \text{ мкм}^2$.			
5 (0,34)	90 с	нет	нет
10 (0,68)	90 с	есть	нет
15 (1,02)	90 с	есть	нет
20 (1,36)	90 с	есть	нет
25 (1,7)	90 с	есть	нет
30 (2,04)	90 с	есть	нет
Замер проницаемости модели по газу: $K_{пр}=1,88 \text{ мкм}^2$.			
35 (2,38)	90 с	есть	нет
40 (2,72)	90 с	есть	нет
45 (3,06)	90 с	нет	нет
50 (3,4)	90 с	нет	нет
55 (3,74)	90 с	нет	нет
60 (4,08)	90 с	нет	нет
Замер проницаемости модели по газу: $K_{пр}=2,67 \text{ мкм}^2$.			
65 (4,42)	90 с	нет	нет
---	90 с	---	---
95 (6,46)	90 с	нет	нет
Замер проницаемости модели по газу: $K_{пр}=3,17 \text{ мкм}^2$.			

Фиг.1

Давление, psi (атм)	Время обработки, с	Характер выносимой жидкости	Вынос песка.
Замер проницаемости модели по воде: $K_{пр}=0,051 \text{ мкм}^2$.			
5 (0,34)	90 с	-	нет
10 (0,68)	90 с	вынос хим. раствора	нет
15 (1,02)	90 с	вынос хим. раствора	нет
20 (1,36)	90 с	вынос хим. раствора	нет
25 (1,7)	90 с	прозрачная вода	нет
30 (2,04)	90 с	прозрачная вода	нет
Замер проницаемости модели по воде: $K_{пр}=0,082 \text{ мкм}^2$.			
35 (2,38)	90 с	прозрачная вода	нет
40 (2,72)	90 с	прозрачная вода	нет
45 (3,06)	90 с	прозрачная вода	нет
50 (3,4)	90 с	прозрачная вода	нет
55 (3,74)	90 с	прозрачная вода	нет
60 (4,08)	90 с	прозрачная вода	нет
Замер проницаемости модели по воде: $K_{пр}=0,076 \text{ мкм}^2$.			
65 (4,42)	90 с	прозрачная вода	нет
---	90 с	---	---
95 (6,46)	90 с	прозрачная вода	нет
100 (6,8)	90 с	вынос хим. раствора	нет

Фиг.2