



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015113607, 25.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.10.2013

Дата регистрации:
24.08.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
26.10.2012 US 13/662,111

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2016 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 24.08.2017 Бюл. № 24

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 26.05.2015

(86) Заявка РСТ:
US 2013/066771 (25.10.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/066737 (01.05.2014)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):

МОРГАН Ронни Г. (US),
БРЕННАЙС Д. Чэд (US),
РОДДИ Крэйг У. (US)

(73) Патентообладатель(и):

ХЭЛЛИБЕРТОН ЭНЕРДЖИ СЕРВИСИЗ,
ИНК. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2007028951 A1, 15.03.2007. US
7353870 B2, 08.04.2008. US 20080087472 A1,
17.04.2008. SU 1640363 A1, 07.04.1991. KG 1305
C1, 30.11.2010. RU 2203388 C1, 27.04.2003.

(54) СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ
ПЕЧНОЙ ПЫЛИ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ И СПОСОБЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу обработки скважин, способу цементирования (варианты), текучей среде для обработки скважин. Способ обработки скважины включает изготовление текучей среды для обработки, содержащей основную текучую среду и смешанный цементирующий компонент, причем смешанный цементирующий компонент включает печную пыль из двух или более различных источников, где печная пыль выбрана из группы, которую составляют известковая печная пыль, цементная печная пыль и их сочетание, где индекс

реакционной способности печной пыли различается для двух или более различных источников; и введение текучей среды для обработки в ствол скважины. Изобретение развито в зависимых пунктах формулы изобретения. Технический результат оптимизация прогнозируемых эксплуатационных характеристик: прочности, модуля упругости, времени потери текучести/или загустевания с учетом индекса реакционной способности. 6 н. и 31 з.п. ф-лы, 3 пр., 3 табл., 4 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C09K 8/467 (2006.01)*E21B 33/138* (2006.01)*C04B 28/02* (2006.01)*C04B 18/08* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015113607, 25.10.2013**(24) Effective date for property rights:
25.10.2013Registration date:
24.08.2017

Priority:

(30) Convention priority:
26.10.2012 US 13/662,111(43) Application published: **10.12.2016** Bull. № 34(45) Date of publication: **24.08.2017** Bull. № 24(85) Commencement of national phase: **26.05.2015**(86) PCT application:
US 2013/066771 (25.10.2013)(87) PCT publication:
WO 2014/066737 (01.05.2014)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**MORGAN Ronni G. (US),
BRENNAJIS D. Ched (US),
RODDI Krejg U. (US)**

(73) Proprietor(s):

**KHELLIBERTON ENERDZHI SERVISIZ,
INK. (US)**(54) **DETERMINATION METHOD OF THE CEMENT KILN DUST REACTIVITY INDEX, RELEVANT COMPOSITIONS AND METHODS OF ITS USE**

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: well treatment method includes the manufacture of the fluid medium for treatment, containing the base fluid medium and the mixed cementitious component. The mixed cementitious component includes the kiln dust from two or more different sources, where the kiln dust is selected from the group, consisting of calcareous kiln dust, cement kiln dust and the combination thereof, where the

reactivity index of the kiln dust differs for two or more different sources; and introducing of the fluid medium for treatment into the well hole. The invention is developed in the dependent claims.

EFFECT: optimisation of the forecasting performance characteristics, strength, elasticity module, pouring loss time, thickening, taking into account the reactivity index.

37 cl, 3 ex, 3 tbl, 4 dwg

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение предлагает цементирующие компоненты и, более конкретно, согласно определенным вариантам осуществления способы определения индекса реакционной способности цементирующих компонентов.

5 Как правило, для обработки скважины используется широкое разнообразие способов, которые можно осуществлять в отношении нефтяных, газовых, геотермальных и/или водяных скважин, таких как способы бурения, заканчивания и капитального ремонта. Эти способы бурения, заканчивания и капитального ремонта могут включать, но не ограничиваются этим, такие способы, как бурение, гидравлический разрыв, подкисление, 10 геофизические исследования, цементирование, заполнение скважинного фильтра гравием, перфорирование и согласование. Многие из этих видов обработки скважины предназначены для повышения и/или упрощения добычи желательных текучих сред из подземной скважины. Эти текучие среды могут включать углеводороды, такие как нефть и/или газ.

15 В способах цементирование, включая цементирование при сооружении скважины и восстановительное цементирование, обычно используются отверждаемые композиции. При использовании в настоящем документе термин "отверждаемая композиция" означает композиции, которые гидравлически застывают или другим способом развивают прочность при сжатии. Отверждаемые композиции можно использовать в операциях 20 первичного цементирования, в результате которых колонны труб, такие как обсадные колонны и обсадные трубы, цементируются в стволе скважины. При осуществлении первичного цементирования отверждаемую композицию можно закачивать в кольцевое пространство между подземным пластом и колонной труб, находящейся в подземном пласте, или трубами колонны и более широким каналом, находящимся в подземном 25 пласте. Отверждаемая композиция должна застывать в кольцевом пространстве, и в результате этого образуется кольцевая оболочка из затвердевшего цемента (например, цементная оболочка), которая должна обеспечивать опору и размещение колонны труб в стволе скважины и прикреплять внешнюю поверхность колонны труб к стенкам 30 ствола скважины или к более широкому каналу. Отверждаемые композиции также можно использовать в способах восстановительного цементирования, таких как установка цементных пробок, а также в цементировании под давлением для герметизации пустот в колонне труб, цементной оболочке, гравийном фильтре, пласте и т.д. Отверждаемые композиции можно также использовать в поверхностных приложениях, например, таких как цементирование конструкций.

35 Отверждаемые композиции для использования в подземных пластах могут, как правило, включать цементирующий компонент, который гидравлически застывает или другим способом затвердевает, развивая прочность при сжатии. Примеры цементирующих компонентов, которые могут содержаться в отверждаемых композициях, представляют собой, помимо прочих материалов, портландцемент, цемент 40 на основе алюминат кальция, цементная печная пыль, известковая печная пыль, летучая зола, шлак, пемза и зола рисовой шелухи. Эксплуатационные характеристики этих различных цементирующих компонентов в отверждаемых композициях могут различаться, причем они могут даже различаться для конкретного цементирующего компонента, например, в зависимости от конкретного типа или источника компонента. 45 Например, некоторые из этих цементирующих компонентов могут иметь нежелательные свойства, которые могут сделать их непригодными для использования в обработке скважины. Кроме того, изменчивость эксплуатационных характеристик цементирующих компонентов может приводить к недостаточной прогнозируемости и надежности

цементирующих компонентов при использовании в текучих средах для обработки скважины. Эта недостаточная прогнозируемость и надежность может становиться очевидной даже для одного и того же цементирующего компонента, например, если он получен из различных источников.

5 СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение предлагает цементирующие компоненты и, более конкретно, согласно определенным вариантам осуществления способы определения индекса реакционной способности для цементирующих компонентов.

10 Вариант осуществления представляет собой способ обработки скважины, включающий изготовление текучей среды для обработки, содержащей основную текучую среду и смешанный цементирующий компонент, причем данный смешанный цементирующий компонент включает печную пыль из двух или более различных источников; и введение текучей среды для обработки в ствол скважины.

15 Следующий вариант осуществления представляет собой способ цементирования, включающий изготовление отверждаемой композиции, содержащей воду и смешанный цементирующий компонент, причем данный смешанный цементирующий компонент включает печную пыль из двух или более различных источников; и осуществление отверждения отверждаемой композиции, при застывании которой образуется затвердевшая масса.

20 Следующий вариант осуществления представляет собой способ цементирования, включающий изготовление отверждаемой композиции, содержащей воду и смешанный цементирующий компонент, причем данный смешанный цементирующий компонент включает печную пыль и дополнительный цементирующий компонент, каждый материал, такой как печная пыль и дополнительный цементирующий компонент, имеют
25 определенный индекс реакционной способности; и осуществление отверждения отверждаемой композиции, при застывании которой образуется затвердевшая масса.

Следующий вариант осуществления представляет собой способ изготовления смешанного цементирующего компонента, включающий обеспечение первой печной пыли, причем первая печная пыль поступает из первого источника; обеспечение второй
30 печной пыли, причем вторая печная пыль поступает из второго источника; и смешивание, по меньшей мере, первой печной пыли и второй печной пыли для изготовления смешанного цементирующего компонента.

Следующий вариант осуществления представляет собой способ измерения реакционной способности печной пыли, включающий измерение параметров печной
35 пыли с учетом того, что печная пыль имеет удельную поверхность, и деление измеряемого параметра на удельную поверхность печной пыли, в результате чего получается индекс реакционной способности для печной пыли.

Следующий вариант осуществления представляет собой текучую среду для обработки скважины, содержащую основную текучую среду и смешанный цементирующий
40 компонент, включающий печную пыль из двух или более различных источников.

Характерные признаки и преимущества настоящего изобретения легко становятся очевидными для специалистов в данной области техники. Хотя специалистами в данной области техники могут быть сделаны многочисленные изменения, такие изменения находятся в пределах идеи настоящего изобретения.

45 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Данные чертежи иллюстрируют определенные аспекты некоторых из вариантов осуществления настоящего изобретения, и их не следует использовать для ограничения или определения настоящего изобретения.

Фиг. 1 представляет график, иллюстрирующий измеряемые индексы реакционной способности цементной печной пыли, поставляемой из различных источников.

Фиг. 2 представляет график сравнения фактической и прогнозируемой прочности при сжатии сухих смесей цементной печной пыли.

Фиг. 3 представляет график сравнения фактической и прогнозируемой среднеобъемной эффективной вязкости при 511 сек^{-1} для сухих смесей цементной печной пыли.

Фиг. 4 представляет график сравнения фактической и прогнозируемой среднеобъемной эффективной вязкости при 51 сек^{-1} для сухих смесей цементной печной пыли.

ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Настоящее изобретение предлагает цементирующие компоненты и, более конкретно, согласно определенным вариантам осуществления способы определения индекса реакционной способности для цементирующих компонентов. Посредством определения индекса реакционной способности для цементирующих компонентов смеси цементирующих компонентов можно использовать для обработки скважины согласно конкретным вариантам осуществления, которые могут обеспечивать более прогнозируемые и надежные эксплуатационные характеристики. Кроме того, дополнительные варианты осуществления могут включать использование определенного индекса реакционной способности для изготовления смесей цементирующих компонентов, в которых один или несколько параметров были оптимизированы, в том числе, например, прочность при сжатии, модуль упругости, потеря текучей среды и/или время загустевания.

Без ограничения теорией считают, что индекс реакционной способности цементирующего компонента можно рассматривать как меру реакционной способности цементирующего компонента с поправкой на различия площади поверхности. Примерные способы для определения индекса реакционной способности могут включать измерение параметра цементирующего компонента и последующее деление измеряемого параметра на удельную поверхность цементирующего компонента. Согласно некоторым вариантам осуществления индекс реакционной способности для цементирующего компонента можно вычислять, используя следующее уравнение:

$$RI = MP/SSA$$

в котором RI представляет собой индекс реакционной способности, MP представляет собой измеряемый параметр цементирующего компонента, и SSA представляет собой удельную поверхность цементирующего компонента. Как правило, удельная поверхность представляет собой свойство тонкодисперсного твердого материала, и при использовании в настоящем документе она определяется как результат деления полной площади поверхности цементирующего компонента на массу цементирующего компонента или как результат деления полной площади поверхности на насыпной объем цементирующего компонента.

Как правило, цементирующие компоненты представляют собой тонкодисперсные твердые материалы, которые гидравлически застывают или другим способом затвердевают, развивая прочность при сжатии в присутствии воды. Неограничительные примеры цементирующих компонентов, которые могут оказаться подходящими для использования согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, включают портландцементы, алюминат кальция, гипс, пуццолановые материалы и печную пыль. Можно также использовать смеси, содержащие один или нескольких различных цементирующих компонентов. Согласно некоторым вариантам осуществления

цементирующий компонент можно сочетать с известью.

Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент может включать портландцемент. Портландцемент представляет собой обычно используемый цементирующий компонент, который гидравлически реагирует с водой, развивая прочность при сжатии. Примеры подходящих портландцементов могут включать материалы, которые относятся к классам цемента А, С, G и Н, которые определяет Американский институт нефти (API) в технических условиях материалов и испытаний для скважинных цемента (Технические условия API 10, пятое издание, 01 июля 1990 г.). Кроме того, портландцементы, подходящие для использования согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, могут также включать материалы, которые относятся к типам I, I/II, III, IV или V по классификации ASTM. Согласно некоторым вариантам осуществления можно использовать смеси цементирующих компонентов, содержащие портландцемент.

Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент может включать алюминат кальция. Алюминат кальция может гидравлически реагировать с водой, развивая прочность при сжатии. Алюминат кальция можно включать в цементы, обычно называемые терминами "цементы на основе алюмината кальция" или "цементы с высоким содержанием оксид алюминия". Цементы на основе алюмината кальция можно изготавливать, осуществляя производственный процесс, в течение которого смешиваются содержащий кальций материала (например, известняк) и содержащий алюминий материал (например, боксит).

Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент может включать гипс. Гипс представляет собой материал, который застывает в присутствии воды, развивая прочность при сжатии.

Гипс может содержаться в цементах, обычно называемых термином "гипсовые цементы". Для использования в цементах гипс можно, согласно некоторым примерам, подвергать обжигу при очень высоких температурах, а затем измельчать. Согласно конкретным вариантам осуществления гипс можно добавлять в портландцемент.

Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент может содержать пуццолановый материал. Пуццолановые материалы, которые могут оказаться подходящими для использования, включают широкое разнообразие природных и искусственных материалов, которые проявляют цементирующие свойства в присутствии гидроксида кальция. Примеры подходящих пуццолановых материалов, которые могут оказаться подходящими для использования согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, включают природные и искусственные пуццоланы, такие как летучая зола, тонкодисперсный диоксид кремния, шлак, обожженный глинистый сланец, обожженная глина, метакаолин, пемза, диатомовая земля, вулканический пепел, опалиновый сланец, туф, а также обожженные органические материалы, такие как зола сельскохозяйственных отходов, зола муниципальных отходов (например, зола твердых муниципальных отходов), зола продуктов переработки сточных вод, зола животных отходов, зола промышленных отходов, полученных не от человека или животных, и соответствующие сочетания. Конкретные примеры золы сельскохозяйственных отходов представляют собой, например, зола рисовой шелухи, древесная зола (полученная, например, из опилок, коры, хвороста, веток, других древесных отходов), зола листьев деревьев, зола кукурузных початков, зола тростника (например, сахарного тростника), зола багассы, зола зерновых культур (например, таких как амарант, ячмень, кукуруза, лен, просо, овес, кинва, рожь, пшеница и т.д.) и соответствующих побочных продуктов (например, таких как шелуха, скорлупа и т.д.), садовая зола, зола виноградных обрезков,

зола травы (например, такой как болотный тростник, свиной пальчатый, природная цойсия японская), зола соломы, зола молотой ореховой скорлупы, зола бобовых (например, сои), а также и соответствующие сочетания.

Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент может включать печную пыль. Один пример печной пыли представляет собой цементная печная пыль. При использовании настоящем документе термин "цементная печная пыль" означает частично обожженный загружаемый в печь материал, который отделяется от газового потока и собирается, например, в пылесборник в процессе производства цемента. Цементная печная пыль, как правило, может проявлять цементирующие свойства, поскольку она может застывать и затвердевать в присутствии воды. Обычно в процессе производства цемента образуются большие количества цементной печной пыли, которые, как правило, подлежат утилизации в качестве отходов. Утилизация цементной печной пыли может вызывать нежелательное увеличение стоимости производства цемента, а также связанные с ней проблемы для окружающей среды. Результаты химического анализа цементной печной пыли с различных производств различаются в зависимости от ряда факторов, включая конкретный загружаемый в печь материал, эффективность операции производства цемента и соответствующие системы сбора пыли. Цементная печная пыль, как правило, может содержать разнообразные оксиды, такие как SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O и K_2O . Другой пример печной пыли представляет собой известковая печная пыль. При использовании настоящем документе термин "известковая печная пыль" означает продукт, образующийся в процессе производства извести. Известковую пыль можно собирать, например, используя системы сбора пыли в процессе обжига известняка.

Согласно некоторым вариантам осуществления один или несколько параметров цементирующего компонента можно измерять и затем использовать для определения индекса реакционной способности. Эти параметры могут представлять собой ряд различных параметров, которые можно измерять, используя стандартные методы лабораторных исследований для отверждаемой композиции, содержащей цементирующий компонент и воду. Дополнительные компоненты могут также содержаться в отверждаемых композициях, например, в целях изменения одного или нескольких свойств текучей среды для обработки. Параметры цементирующего компонента или содержащей его отверждаемой композиции, которые могут быть измерены, представляют собой, например, прочность при сжатии, модуль упругости, потерю текучей среды, время загустевания, реологические значения (например, среднеобъемная эффективная вязкость, пластическая вязкость, предел текучести и т.д.) и/или содержание свободной воды.

Прочность при сжатии, как правило, представляет собой способность материала или конструкции выдерживать направленные аксиально толкающие усилия. Прочность при сжатии цементирующего компонента можно измерять в определенный момент времени после смешивания цементирующего компонента с водой и выдерживания получаемой в результате текучей среды для обработки в определенных условиях температуры и давления. Например, прочность при сжатии можно измерять в момент времени в интервале от приблизительно 24 до приблизительно 48 часов после того, как текучая среда смешивается и выдерживается при температуре 170°F ($76,67^\circ\text{C}$) и атмосферном давлении. Прочность при сжатии можно измерять, используя разрушающий способ или неразрушающий способ. Разрушающий способ представляет собой физическое испытание прочности образцов текучей среды для обработки в различные моменты времени посредством разрушения образцов в устройстве для

испытаний при сжатии. Прочность при сжатии вычисляется как соотношение нагрузки в момент разрушения и площади поперечного сечения, сопротивляющейся нагрузке, и выражается в фунтах силы на квадратный дюйм. В неразрушающих способах, как правило, можно использовать ультразвуковой анализатор цемента (UCA), который

5 поставляет Fann Instrument Company (Хьюстон, штат Техас). Прочность при сжатии можно определять согласно рекомендованному практическому руководству API RP 10B-2 для исследования скважинных цементов (первое издание, июль 2005 г.).

Модуль упругости, также называемый термином "модуль Юнга" (Young), представляет собой меру соотношения прилагаемого напряжения и получаемой в

10 результате деформации. Как правило, высокодеформируемый (пластический) материал проявляет меньший модуль упругости при увеличении ограниченного напряжения. Таким образом, модуль упругости представляет собой константу упругости, которая демонстрирует способность исследуемого материала выдерживать прилагаемую нагрузку. Можно использовать ряд различных лабораторных методов для измерения

15 модуля упругости текучей среды для обработки, содержащей цементирующий компонент, после того, как текучая среда для обработки выдерживается для застывания в течение заданного периода времени в определенных условиях температуры и давления.

Потеря текучей среды, как правило, означает потерю текучей среды, такой как текучая среда для обработки, в подземном пласте. Можно использовать ряд различных

20 лабораторных методов для измерения потери текучей среды для обработки, которые описывают поведение текучей среды для обработки в скважине. Потерю текучей среды можно измерять, осуществляя статическое исследование потери текучей среды и используя статическую или перемешиваемую ячейку для измерения потери текучей среды согласно вышеупомянутому рекомендованному практическому руководству

25 API RP 10B-2.

Время загустевания, как правило, означает время, в течение которого текучая среда, такая как текучая среда для обработки, включающая цементирующий компонент, сохраняет текучее состояние и пригодность к перекачиванию. Можно использовать

30 ряд различных лабораторных методов для измерения времени загустевания, в которых определяется продолжительность времени, в течение которого текучая среда для обработки сохраняет пригодность для закачивания в скважину. В примерном способе определения того, что текучая среда для обработки находится в пригодном для закачивания текучем состоянии, может быть использован работающий при высокой температуре и высоком давлении прибор для определения времени загустевания/

35 консистенции в определенных условиях давления и температуры согласно процедуре определения времени загустевания цемента, которую определяет вышеупомянутое рекомендованное практическое руководство API RP 10B-2. Время загустевания может представлять собой время, в течение которого текучая среда для обработки достигает консистенции на уровне 70 единиц Бердена (Bearden) (Bc), и может определяться как

40 время достижения 70 Bc.

Реологические значения текучей среды можно определять в качестве характеристик реологического поведения текучей среды. Реологические значения, которые можно определять, включают, помимо прочих, среднеобъемную эффективную вязкость, предел текучести и пластическую вязкость. Пластическая вязкость, как правило, представляет

45 собой меру сопротивления течению текучей среды. Согласно некоторым вариантам осуществления предел текучести может представлять собой параметр пластической модели Бингама (Bingham), причем предел текучести представляет собой наклон линии зависимости напряжения от скорости сдвига выше предела текучести. Предел текучести,

как правило, представляет собой меру состояния, в котором материал не может больше выдерживать упругую деформацию. Согласно некоторым вариантам осуществления предел текучести может представлять собой параметр пластической модели Бингама, причем предел текучести представляет собой напряжение при текучести,

5 экстраполированное к нулевой скорости сдвига. Можно использовать ряд различных лабораторных методов для измерения реологических значений текучей среды для обработки, которые представляют собой показатели поведения текучей среды для обработки в скважине. Реологические значения можно измерять согласно процедуре, которую определяет вышеупомянутое рекомендованное практическое руководство
10 API RP 10B-2.

Свободная вода, как правило, означает любую воду в текучей среде, которая представляет собой избыток по отношению к количеству, которое требуется для полной гидратации компонентов текучей среды. Свободная вода может быть нежелательной, поскольку она может физически отделяться от цементирующей композиции в процессе
15 ее застывания. Свободная вода может также называться термином "свободная текучая среда". Можно использовать ряд различных лабораторных методов для измерения содержания свободной воды в текучей среде для обработки, которое представляет собой показатель поведения текучей среды для обработки скважины. Содержание свободной воды можно измерять согласно процедуре, которую определяет
20 вышеупомянутое рекомендованное практическое руководство API RP 10B-2.

Как упомянуто выше, реакционная способность цементирующих компонентов может различаться для различных типов цементирующих компонентов или даже для различных источников определенного типа цементирующего компонента. Например, может различаться реакционная способность, которую имеет портландцемент и другой
25 цементирующий компонент, такой как пуццолановый материал. В качестве дополнительного пример, реакционная способность цементирующего компонента может различаться для различных источников цементирующего компонента. Согласно некоторым вариантам осуществления индекс реакционной способности цементирующего компонента может различаться для двух или более различных источников в
30 соотношении, составляющем, по меньшей мере, приблизительно 2:1. Например, индекс реакционной способности может различаться для различных источников цементирующего компонента в соотношении на любом уровне, являющемся промежуточным и/или составляющем приблизительно 2:1, приблизительно 10:1, приблизительно 50:1, приблизительно 100:1, приблизительно 250:1, приблизительно
35 500:1 или приблизительно 1000:1. Поскольку реакционная способность различается для различных цементирующих компонентов и даже для различных источников цементирующего компонента, эксплуатационные характеристики различных цементирующих компонентов могут оказаться непрогнозируемыми, что может также приводить к недостаточной консистенции цементирующих компонентов при их
40 использовании в текучих средах для обработки, таких как отверждаемые композиции. В некоторых случаях эксплуатационные характеристики конкретного цементирующего компонента могут иметь нежелательные свойства, которые могут сделать их непригодными для использования. Например, цементирующий компонент из определенного источника может иметь свойства, которые делают его непригодным
45 для использования.

Согласно некоторым вариантам осуществления можно использовать смесь из двух или более различных цементирующих компонентов, чтобы получить смешанный цементирующий компонент, который может иметь свойства, подходящие для

использования в определенном приложении. Это может оказаться особенно полезным, например, в тех случаях, где один из цементирующих компонентов в смеси может иметь свойства, делающие его непригодным для данного определенного приложения.

Например, цементирующий компонент, такой как цементная печная пыль из первого источника, можно смешивать с цементирующим компонентом, таким как цементная печная пыль из второго источника. Согласно некоторым вариантам осуществления один или оба из цементирующих компонентов могут иметь реакционную способность, которая делает их непригодными для конкретного приложения. Например, реакционная способность каждого индивидуального цементирующего компонента может оказаться чрезмерно низкой или чрезмерно высокой для конкретного приложения. Смешивание цементирующих компонентов из двух различных источников может производить смешанный цементирующий компонент, имеющий свойства прочности при сжатии, которые являются подходящими для данного приложения. Согласно некоторым вариантам осуществления относительные количества (например, массовые доли) каждого цементирующего компонента в смешанном цементирующем компоненте можно затем регулировать, чтобы изменять свойства прочности при сжатии смешанного цементирующего компонента.

Два или более цементирующих компонентов в смешанном цементирующем компоненте могут включать, например, два или более цементирующих компонентов различных типов, таких как портландцемент и цементная печная пыль. В качестве альтернативы, два или более цементирующих компонентов в смешанном цементирующем компоненте могут включать, например, цементирующие компоненты из двух или более различных источников. Например, первый цементирующий компонент может включать цементную печную пыль из первого источника, а второй цементирующий компонент может включать цементную печную пыль из второго источника. Следует понимать, что варианты осуществления не ограничиваются только двумя различными источниками, но могут включать цементирующий компонент, такой как цементная печная пыль, из трех, четырех, пяти или еще большего числа различных источников. Два или более различных источников цементирующего компонента могут включать различные производства, различные цементные производственные предприятия и т.д. Цементирующий компонент, такой как цементная печная пыль, который представляет собой побочный продукт цементного производственного предприятия, может иметь множество различных источников, существующих во всем мире. Например, различные источники цементной печной пыли могут включать различные производственные предприятия на территории всего мира, на которых может производиться цементная печная пыль.

Два или более цементирующих компонентов можно смешивать, получая смешанный цементирующий компонент, например, перед объединением с водой и/или другими компонентами текучей среды для обработки. Согласно определенным вариантам осуществления два или более цементирующих компонентов можно смешивать в сухом состоянии, получая сухую смесь, содержащую два или более цементирующих компонентов. Эту сухую смесь можно затем объединять с водой и/или другими компонентами в любой последовательности, получая текучую среду для обработки. Однако использование термина "смесь" не предназначается для определения того, что два или более цементирующих компонентов смешиваются в сухом состоянии перед объединением с водой. Например, смесь двух или более цементирующих компонентов можно не объединять до тех пор, пока один или даже оба из цементирующих компонентов не были предварительно смешаны с водой.

Согласно некоторым вариантам осуществления индекс реакционной способности можно использовать для оптимизации смешанного цементирующего компонента, причем данный смешанный цементирующий компонент включает два или более цементирующих компонентов. Например, индекс реакционной способности можно использовать для оптимизации одного или нескольких параметров смешанного цементирующего компонента, в том числе таких, как прочность при сжатии, модуль упругости, потеря текучей среды и/или время загустевания. Оптимизация смешанного цементирующего компонента может включать определение индекса реакционной способности для каждого из цементирующих компонентов в смешанном цементирующем компоненте. Индекс реакционной способности каждого цементирующего компонента можно затем использовать, чтобы прогнозировать эксплуатационные характеристики смешанного цементирующего компонента. Соотношение каждого цементирующего компонента можно регулировать, чтобы оптимизировать эксплуатационные характеристики смешанного цементирующего компонента. Эксплуатационные характеристики смешанного цементирующего компонента можно оптимизировать с учетом эксплуатационных характеристик смешанного цементирующего компонента, которые оценивают, используя следующее уравнение:

$$EP_{blend} = \sum_{i=1}^n (RI_i)(SSA_i)(f_i)^m,$$

в котором EP_{blend} представляет собой оцениваемый параметр для смешанного цементирующего компонента, i представляет собой номер индивидуального цементирующего компонента из ряда цементирующих компонентов от 1 до n , n представляет собой целое число, RI_i представляет собой индекс реакционной способности цементирующего компонента i , SSA_i представляет собой удельную поверхность цементирующего компонента i , f_i представляет собой массовую долю цементирующего компонента i , и m представляет собой число от 1 до 10. Ряд цементирующих компонентов может включать два или более различных цементирующих компонентов. Два или более различных цементирующих компонентов могут представлять собой цементирующие компоненты различных типов, таких как портландцемент и шлак, или они могут происходить из различных источников, такой как цементная печная пыль из первого источника и цементная печная пыль из второго источника. Согласно некоторым вариантам осуществления m может составлять 1. Согласно альтернативным вариантам осуществления m может составлять 7/3.

Согласно некоторым вариантам осуществления медианный размер частиц цементирующего компонента может отличаться от его исходного размера частиц. Индекс реакционной способности можно затем измерять для измененного цементирующего компонента. Измененный цементирующий компонент можно содержать в смешанном цементирующем компоненте. Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, медианный размер частиц цементирующего компонента можно изменять, осуществляя любой подходящий способ, в том числе, без ограничения, измельчение или разделение, чтобы получить материал, имеющий измененный размер частиц. Разделение цементирующего компонента может включать просеивание или любой другой подходящий способ для разделения цементирующего компонента и получения медианного размера частиц, который отличается от соответствующего исходного размера. Например, просеивание можно использовать, чтобы получать цементирующий компонент, имеющий увеличенный или уменьшенный

медианный размер частиц, который является желательным для конкретного приложения. В качестве дополнительного примера, можно использовать измельчение, чтобы уменьшать медианный размер частиц цементирующего компонента. Согласно некоторым вариантам осуществления можно использовать сочетания измельчения и разделения. Термин "измельченный" или "измельчение" при использовании в настоящем документе означает, что используется измельчающее устройство (например, шаровая мельница, стержневая мельница и т.д.) для уменьшения размера частиц определенного компонента (компонентов). Пример подходящего измельчающего устройства представляет собой шаровая мельница 8000 Mixer/Mill®, которую поставляет компания SPEX SamplePrep. Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент можно измельчать в течение периода времени, составляющего от приблизительно 30 минут до приблизительно 1 часа.

Медианный размер частиц цементирующего компонента можно изменять, получая любой размер, подходящий для использования в операциях цементирования. Согласно некоторым вариантам осуществления медианный размер частиц цементирующего компонента можно изменять по сравнению с его исходным размер частиц, получая медианный размер частиц, составляющий от приблизительно 1 мкм до приблизительно 350 мкм. Медианный размер частиц соответствует значению d_{50} , которое измеряют, используя анализаторы размеров частиц, такие как анализаторы, которые производит компания Malvern Instruments (Вустершир, Соединенное Королевство).

Согласно некоторым вариантам осуществления медианный размер частиц цементирующего компонента можно увеличивать по отношению к его исходному размеру. Например, медианный размер частиц цементирующего компонента можно увеличивать, по меньшей мере, на 5% по отношению к его исходному размеру. Согласно некоторым вариантам осуществления, по меньшей мере, у части цементирующего компонента можно увеличивать размер частиц, причем данное увеличение составляет от приблизительно 5% до приблизительно 500% по отношению к его исходному размеру. Согласно некоторым варианты осуществления медианный размер частиц можно увеличивать в любой степени, составляющей и/или находящейся между любыми из значений, представляющих собой приблизительно 5%, приблизительно 10%, приблизительно 20%, приблизительно 30%, приблизительно 40%, приблизительно 50%, приблизительно 60%, приблизительно 70%, приблизительно 80%, приблизительно 90%, приблизительно 100%, приблизительно 200%, приблизительно 300%, приблизительно 400%, или приблизительно 500% по отношению к его исходному размеру.

Согласно некоторым вариантам осуществления медианный размер частиц цементирующего компонента можно уменьшать по отношению к его исходному размеру. Например, медианный размер частиц можно уменьшать в достаточной степени, чтобы увеличивалась прочность при сжатии цементирующего компонента. Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент может иметь медианный размер частиц, который составляет, по меньшей мере, на 5% меньше по отношению к его исходному размеру. Согласно некоторым вариантам осуществления, по меньшей мере, у части цементирующего компонента можно уменьшать медианный размер частиц, причем данное уменьшение составляет от приблизительно 5% до приблизительно 95% по отношению к его исходному размеру. Например, медианный размер частиц можно уменьшать в любой степени, составляющей и/или находящейся между любыми из значений, представляющих собой приблизительно 5%, приблизительно 10%, приблизительно 15%, приблизительно 20%, приблизительно 25%, приблизительно 30%, приблизительно 35%, приблизительно 40%, приблизительно 45%, приблизительно

50%, приблизительно 55%, приблизительно 60%, приблизительно 6%, приблизительно 70%, приблизительно 75%, приблизительно 80%, приблизительно 90% или приблизительно 95% по отношению к его исходному размеру. В качестве примера, после уменьшения размера частиц цементирующий компонент может иметь медианный размер частиц, составляющий менее чем приблизительно 15 мкм. Согласно некоторым вариантам осуществления после уменьшения размера частиц цементирующий компонент может иметь медианный размер частиц, составляющий менее чем приблизительно 10 мкм, менее чем приблизительно 5 мкм, менее чем приблизительно 4 мкм, менее чем приблизительно 3 мкм, менее чем приблизительно 2 мкм, или менее чем приблизительно 1 мкм. Согласно определенным вариантам осуществления после уменьшения размера частиц цементирующий компонент может иметь медианный размер частиц, составляющий от приблизительно 0,1 мкм до приблизительно 15 мкм, от приблизительно 0,1 мкм до приблизительно 10 мкм, или от приблизительно 1 мкм до приблизительно 10 мкм. Обычные специалисты в данной области техники после ознакомления с настоящим описанием должны иметь возможность выбирать размер частиц цементирующего компонента, который является подходящим для конкретного приложения.

Согласно некоторым вариантам осуществления медианный размер частиц цементной печной пыли можно уменьшать в достаточной степени, которая обеспечивает увеличение прочности при сжатии отверждаемой композиции. Например, медианный размер частиц можно уменьшать, чтобы обеспечивать увеличение прочности при сжатии, составляющее, по меньшей мере, приблизительно 5%. приблизительно 25%, приблизительно 50%, приблизительно 75% или приблизительно 100%.

Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, цементирующие компоненты могут содержаться в текучих средах для обработки, которые можно использовать в разнообразных операциях, которые можно осуществлять в подземных пластах. Цементирующий компонент может иметь индекс реакционной способности, который вычисляется согласно описанным вариантам осуществления. Согласно некоторым вариантам осуществления смешанный цементирующий компонент можно использовать. Согласно некоторым вариантам осуществления индекс реакционной способности можно использовать для определения цементирующих компонентов в конкретном смешанном цементирующем компоненте. При использовании в настоящем документе термин "текучая среда для обработки" следует понимать как означающий любую текучую среду, которую можно использовать в подземных приложениях в связи с желательной функцией и/или для желательной цели. Термин "текучая среда для обработки" не предназначается для распространения на любое конкретное действие текучей среды. Текучие среды для обработки часто используются, например, в операциях бурения, заканчивания и стимуляции скважины. Примеры таких текучих сред для обработки включают текучие среды для бурения, текучие среды для очистки скважины, текучие среды для капитального ремонта, текучие среды для соответствия, текучие среды для гравийного фильтра, текучие среды для подкисления, текучие среды для гидравлического разрыва, цементирующие композиции, разделительные текучие среды и т.д.

Хотя композиции и способы согласно вариантам осуществления можно использовать в разнообразных приложениях, они могут оказываться особенно полезными для подземных операций заканчивания и восстановления скважины, таких как первичное цементирование обсадных колонн и обсадных хвостовиков в стволе скважины. Они также могут оказываться полезными для поверхностных операций цементирования,

включая операции цементирования конструкций. Соответственно, варианты осуществления настоящего изобретения предлагают отверждаемые композиции, содержащие цементирующий компонент и воду.

Согласно вариантам осуществления цементирующий компонент может содержаться в отверждаемых композициях в количестве, подходящем для конкретного приложения. Согласно некоторым вариантам осуществления цементирующий компонент можно включать цементную печную пыль. Цементная печная пыль может присутствовать в количестве, составляющем от приблизительно 0,01% до 100% по отношению к массе цементирующего компонента. Например, цементная печная пыль может присутствовать в количестве, составляющем и/или находящемся между любыми из значений, представляющих собой приблизительно 0,01%, приблизительно 5%, приблизительно 1,0%, приблизительно 20%, приблизительно 30%, приблизительно 40%, приблизительно 50%, приблизительно 60%, приблизительно 70%, приблизительно 80%, приблизительно 90%, или приблизительно 100%. В цементирующем компоненте могут отсутствовать или практически отсутствовать (составляя, например, не более чем 1 масс. % цементирующего компонента) любой дополнительные цементирующие компоненты, которые не представляют собой данный цементирующий компонент. Согласно некоторым вариантам осуществления в цементирующем компоненте может практически отсутствовать портландцемент. Обычные специалисты в данной области техники после ознакомления с настоящим описанием должны иметь способность определять надлежащее количество цементирующего компонента, которое должно содержаться для конкретного приложения.

Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, вода, используемая в отверждаемых композициях, может представлять собой, например, пресную воду, соленую воду (например, воду, содержащую одну или несколько растворенных в ней солей), солевой раствор (например, насыщенный солевой раствор, добываемый из подземных пластов), морскую воду или любое соответствующее сочетание. Как правило, вода может происходить из любого источника, при том условии, например, что в ней не содержатся в избытке соединения, которые могут нежелательно воздействовать на другие компоненты в отверждаемой композиции. Согласно некоторым вариантам осуществления вода можно содержаться в количестве, достаточном для образования пригодной для перекачивания суспензии. Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения, вода может содержаться в отверждаемых композициях в количестве, составляющем от приблизительно 40% до приблизительно 200% по отношению к массе цементирующего компонента. Например, вода можно присутствовать в количестве, составляющем и/или находящемся между любыми из значений, представляющих собой приблизительно 50%, приблизительно 75%, приблизительно 100%, приблизительно 125%, приблизительно 150% или приблизительно 175% по отношению к массе цементирующего компонента. Согласно конкретным вариантам осуществления вода можно содержаться в количестве, составляющем от приблизительно 40% до приблизительно 150% по отношению к массе цементирующего компонента. Обычные специалисты в данной области техники после ознакомления с настоящим описанием должны определять соответствующее количество воды, которое подлежит включению в композицию для выбранного приложения.

Согласно вариантам осуществления другие добавки, подходящие для использования в подземных операциях цементирования, можно также вводить в отверждаемые композиции согласно вариантам осуществления настоящего изобретения. Примеры таких добавок представляют собой, но не ограничиваются этим, ограничивающие

потери текучей среды добавки, замедлители застывания, снижающие прочность добавки, ускорители застывания, повышающие плотность добавки, снижающие плотность добавки, производящие газы добавки, улучшающие механические свойства добавки, ограничивающие потери при циркуляции добавки, регулирующие фильтрацию добавки, пенообразующие добавки, тиксотропные добавки и любые соответствующие сочетания. Конкретные примеры этих и других добавок представляют собой кристаллический диоксид кремния, аморфный диоксид кремния, тонкодисперсный диоксид кремния, соли, волокна, гидратируемые глины, обожженный глинистый сланец, стекловидный глинистый сланец, микросферы, полые стеклянные сферы, летучая зола, диатомовая земля, метакаолин, измельченный перлит, зола рисовой шелухи, природный пуццолан, цеолит, цементная печная пыль, полимеры, любые соответствующие сочетания и т.д. Обычные специалисты в данной области техники после ознакомления с настоящим описанием, смогут легко определять тип и количество добавок, полезных для получения желательного результата в конкретных приложениях.

Обычные специалисты в данной области техники смогут понять, что отверждаемые композиции согласно вариантам осуществления, как правило, должны иметь плотность, подходящую для конкретного приложения. В качестве примера, согласно вариантам осуществления отверждаемые композиции могут иметь плотность, составляющую от приблизительно 4 фунтов на галлон (0,4793 кг/л) до приблизительно 20 фунтов на галлон (2,397 кг/л). Согласно определенным вариантам осуществления отверждаемые композиции могут иметь плотность, составляющую от приблизительно 8 фунтов на галлон (0,9586 кг/л) до приблизительно 17 фунтов на галлон (2,037 кг/л). Согласно вариантам осуществления отверждаемые композиции могут быть вспененными или невспененными, или в них могут содержаться другие добавки, уменьшающие их плотность, такие как полые микросферы, упругие шарики низкой плотности или другие снижающие плотность добавки, известные в технике. Кроме того, отверждаемая композиция может включать повышающие плотность вещества или другие добавки, которые увеличивают их плотность. Обычные специалисты в данной области техники после ознакомления с настоящим описанием смогут определить соответствующую плотность для конкретного приложения.

Согласно некоторым вариантам осуществления отверждаемые композиции могут иметь время загустевания, составляющее более чем приблизительно 1 час, в качестве альтернативы, более чем приблизительно 2 часа, в качестве альтернативы, более чем приблизительно 5 часов при давлении 3000 фунтов на квадратный дюйм (20,68 МПа) и температуре, составляющей от приблизительно 50°F (10°C) до приблизительно 400°F (204,4°C), в качестве альтернативы, от приблизительно 80°F (26,67°C) до приблизительно 250°F (121,1°C) и, в качестве альтернативы, при температуре, составляющей приблизительно 140°F (60°C). Согласно некоторым вариантам осуществления отверждаемая композиция может иметь через 24 часа прочность при сжатии, составляющую от приблизительно 100 фунтов на квадратный дюйм (0,6895 МПа) до приблизительно 10000 фунтов на квадратный дюйм (68,95 МПа) и, в качестве альтернативы, от приблизительно 350 фунтов на квадратный дюйм (2,413 МПа) до приблизительно 3000 фунтов на квадратный дюйм (20,68 МПа) при атмосферном давлении и температуре, составляющей от приблизительно 50°F (10°C) до приблизительно 400°F (204,4°C), в качестве альтернативы, от приблизительно 80°F (26,67°C) до приблизительно 250°F (121,1°C), и, в качестве альтернативы, при температуре, составляющей приблизительно 180°F (82,22°C).

Компоненты отверждаемой композиции можно объединять в любой

последовательности, желательной для образования отверждаемой композиции, которую можно помещать в подземный пласт. Кроме того, компоненты отверждаемой композиции можно объединять, используя любое смесительное устройство, совместимое с композицией, в том числе, например, объемный смеситель. Согласно некоторым вариантам осуществления сухую смесь можно сначала изготавливать, используя цементирующий компонент или смесь цементирующих компонентов. Сухую смесь можно затем объединять с водой, образуя отверждаемую композицию. Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения можно использовать и другие подходящие способы для изготовления отверждаемых композиций, которые смогут понять обычные специалисты в данной области техники.

Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, как смогут понять обычные специалисты в данной области техники, цементирующие композиции можно использовать в разнообразных операциях цементирования, включая поверхностные и подземные операции, такие как первичное и восстановительное цементирование. Согласно некоторым вариантам осуществления может быть изготовлена цементирующая композиция, которая включает цементирующий компонент и воду, и ее можно выдерживать для застывания. Согласно определенным вариантам осуществления цементирующую композицию можно вводить в подземный пласт и выдерживать в нем для застывания. При использовании в настоящем документе введение цементирующей композиции в подземный пласт включает введение в любую часть подземного пласта, в том числе, без ограничения, в ствол скважины, которая пронизывает подземный пласт и/или в приствольную область, которая окружает ствол скважины.

Согласно вариантам осуществления первичное цементирование может включать, например, изготовление цементирующей композиции, введение цементирующей композиции в кольцевое пространство ствола скважины, выдерживание цементирующей композиции для застывания в кольцевом пространстве и образование затвердевшей массы. Кольцевое пространство ствола скважины может включать, например, кольцевое пространство, которое образуют между собой канал (например, колонна труб, обсадной хвостовик и т.д.) и стенка ствола скважины, или канал и более широкий канал в стволе скважины. Как правило, в большинстве случаев затвердевшая масса должна фиксировать канал в стволе скважины.

Согласно вариантам осуществления цементирующую композицию для восстановительного цементирования можно использовать, например, в операциях цементирования под высоким давлением или установки цементных пробок. В качестве примера, цементирующую композицию можно помещать в ствол скважины для открытия пробки, включая полости или трещины в пласте, в гравийный фильтр, в канал, в цементную оболочку и/или в кольцевое микропространство между цементной оболочкой и каналом или пластом. Пример такого способа может включать помещение цементирующей композиции в полость и выдерживание цементирующей композиции для застывания в данной полости.

Хотя предшествующее описание представляет использование цементирующего компонента в способах цементирования, следует понимать, что варианты осуществления настоящего изобретения также предусматривают использование цементирующего компонента в любой из многочисленных и разнообразных операций подземной обработки. Цементирующий компонент может иметь индекс реакционной способности, определенный согласно описанным вариантам осуществления. Согласно некоторым вариантам осуществления можно использовать смешанный цементирующий компонент. Согласно некоторым вариантам осуществления индекс реакционной способности

можно использовать для определения количества цементирующих компонентов, которые содержит конкретный смешанный цементирующий компонент. Примерный способ может представлять собой способ подземной обработки, который включает изготовление текучей среды для обработки, содержащей цементирующий компонент, и введение текучей среды для обработки в подземный пласт. Например, текучая среда для бурения может содержать цементирующий компонент, причем данная текучая среда для бурения может циркулировать вниз через буровую трубу, а затем вверх через ствол скважины на поверхность. Используемые текучие среды для бурения могут представлять собой любое число текучих сред (газообразных или жидких), а также смеси текучих сред и твердых веществ (такие содержащие твердые вещества суспензии, смеси и эмульсии).

Согласно некоторым вариантам осуществления разделительная текучая среда может содержать цементирующий компонент, который может иметь определенный индекс реакционной способности согласно описанным вариантам осуществления. Согласно варианту осуществления разделительные текучие среды можно использовать, например, для вытеснения текучих сред из ствола скважины, причем текучая среда, которую вытесняет разделительная текучая среда, содержит текучую среду для бурения. В качестве примера, разделительную текучую среду можно использовать, чтобы вытеснить текучую среду для бурения из ствола скважины. Текучая среда для бурения может представлять собой, например, любое число текучих сред, таких как содержащие твердые вещества суспензии, смеси и эмульсии. Согласно вариантам осуществления дополнительные стадии способа могут включать введение колонны труб в ствол скважины, введение цементирующей композиции в ствол скважины с использованием разделительной текучей среды, которая разделяет цементирующую композицию и первую текучую среду. Согласно варианту осуществления цементирующую композицию можно выдерживать для застывания в стволе скважины. Цементирующая композиция может содержать, например, цемент и воду. Согласно некоторым вариантам осуществления, по меньшей мере, часть разделительной текучей среды может оставаться в стволе скважины. Разделительная текучая среда в стволе скважины застывает, и образуется затвердевшая масса.

Примеры

Чтобы способствовать лучшему пониманию настоящего изобретения, представлены следующие примеры определенных аспектов некоторых вариантов осуществления. Никаким образом следующие примеры не должны рассматриваться как ограничивающие или определяющие весь объем настоящего изобретения.

Пример 1

Определяли значения индекса реакционной способности для прочности при сжатии тридцати трех различных образцов цементной печной пыли (ЦП), обозначенных как образцы A-GG, которые представлены на Фиг. 1. Все образцы ЦП получены из различных источников поставки. Индекс реакционной способности тридцати трех образцов ЦП определяли делением определенной прочности при сжатии отверждаемой композиции через 24 часа на удельную поверхность образца ЦП. Удельную поверхность каждого образца ЦП определяли делением полной площади поверхности данного образца ЦП на массу образца. Площадь поверхности определяли, используя анализатор размера частиц от компании Malvern. Прочность при сжатии через 24 часа для каждого образца ЦП определяли, изготавливая сначала отверждаемую композицию, которая содержала образец ЦП в количестве 100% по отношению к массе цементирующего компонента и воду в количестве, достаточном для обеспечения плотности, составляющей

приблизительно 13 фунтов на галлон (1,558 кг/л). После изготовления отверждаемую композицию выдерживали для застывания в течение 24 часов в металлическом цилиндре, имеющем размеры 2 дюйма (50,8 мм) × 4 дюйма (101,6 мм), который был помещен в ванну с водой при 170°F (76,67°C), и получали застывший цемент в форме цилиндров.

Немедленно после извлечения из ванны с водой прочность при сжатии определяли разрушающим методом, используя механический пресс согласно рекомендованному практическому руководству API RP 10B.

Пример 2

Изготавливали смешанные цементирующие компоненты, которые представляли собой смеси образцов ЦП из примера 1, как показывает приведенная ниже таблица. Определенные индексы реакционной способности образцов ЦП затем использовали в следующем уравнении, чтобы прогнозировать эксплуатационные характеристики каждого смешанного цементирующего компонента.

$$CS_{blend} = (RI_Z)(SSA_Z)(f_Z)^m + (RI_F)(SSA_F)(f_F)^m + (RI_E)(SSA_E)(f_E)^m.$$

Здесь CS_{blend} представляет собой оцениваемую прочность при сжатии для смешанного цементирующего компонента, RI_Z представляет собой индекс реакционной способности для прочности при сжатии образца ЦП Z и составляет 6,9, m составляет 1, SSA_Z представляет собой удельную поверхность образца ЦП Z и составляет 2,32, f_Z представляет собой массовую долю образца ЦП Z, RI_F представляет собой индекс реакционной способности для прочности при сжатии образца ЦП F и составляет 105, SSA_F представляет собой удельную поверхность образца ЦП F и составляет 2,33, f_F представляет собой массовую долю образца ЦП F, RI_E представляет собой индекс реакционной способности для прочности при сжатии образца ЦП E и составляет 107, SSA_E представляет собой удельную поверхность образца ЦП E и составляет 3,6, и f_E представляет собой массовую долю образца ЦП E.

Значения оцениваемой прочности при сжатии смешанных цементирующих компонентов затем сравнивали с фактическими значениями прочности при сжатии смешанных цементирующих компонентов через 24 часа. Прочность при сжатии через 24 часа для каждого смешанного цементирующего компонента определяли, изготавливая сначала отверждаемую композицию, которая содержала смешанный цементирующий компонент в количестве 100% по отношению к массе цементирующего компонента и воду, в достаточном количестве для обеспечения плотности, составляющей 13 фунтов на галлон (1,558 кг/л). В некоторые образцы добавляли диспергирующее вещество для цемента (снижающее трение цемента вещество CFR-3™ от компании Halliburton Energy Services, Inc.) в количестве от 0,5% до 1,0% по отношению к массе цементирующего компонента, причем оно не должно было влиять на определяемые значения прочности при сжатии. После изготовления отверждаемую композицию выдерживали для застывания в течение 24 часов в металлическом цилиндре, имеющем размеры 2 дюйма (50,8 мм) × 4 дюйма (101,6 мм), который был помещен в ванну с водой при 140°F (6,0°C), и получали застывший цемент в форме цилиндров. Немедленно после извлечения из ванны с водой прочность при сжатии определяли разрушающим методом, используя механический пресс согласно рекомендованному практическому руководству API RP 10B.

На Фиг. 2 представлен график значений фактической прочности при сжатии в зависимости от значений оцениваемой прочности при сжатии. Как показывает Фиг. 2,

приведенные на графике значения имеют значение R^2 , составляющее 0,952, и наклон 0,9253. Значения оцениваемой и фактической прочности при сжатии для смешанных цементирующих компонентов также представлены ниже в таблице 1.

5

10

15

Образец ЦП Z (% по отношению к массе цементирующего компонента)	Образец ЦП F (% по отношению к массе цементирующего компонента)	Образец ЦП E (% по отношению к массе цементирующего компонента)	Оцениваемая прочность при сжатии (фунтов на квадратный дюйм)	Фактическая прочность при сжатии (фунтов на квадратный дюйм)
100	0	0	16	16
75	25	0	73	51
25	75	0	187	183
0	100	0	244	244
75	0	25	108	84
50	0	50	200	192
25	0	75	292	216
0	0	100	384	384

Пример 3

Индексы реакционной способности для среднеобъемной эффективной вязкости при 511 сек⁻¹ и 51 сек⁻¹, определенные для образцов ЦП Z, R и В из примера 1, представлены ниже в таблице 2. Индексы реакционной способности для этих образцов вычисляли делением определенной среднеобъемной эффективной вязкости для отверждаемой композиции на удельную поверхность образца ЦП. Удельную поверхность для каждого образца ЦП определяли делением полной площади поверхности данного образца ЦП на массу образца. Площадь поверхности определяли, используя анализатор размера частиц от компании Malvern. Среднеобъемную эффективную вязкость через 24 часа (VAV) для каждого образца ЦП определяли, изготавливая сначала отверждаемую композицию, которая содержала образец ЦП в количестве 100% по отношению к массе цементирующего компонента и воду в количестве, достаточном для обеспечения плотности, составляющей приблизительно 12 фунтов на галлон (1,438 кг/л).

Среднеобъемную эффективную вязкость измеряли при 511 сек⁻¹ и 51 сек⁻¹ согласно рекомендованному практическому руководству API RP 10B.

35

	Образец ЦП Z	Образец ЦП F	Образец ЦП E
Удельная поверхность (SSA)	2,32	2,33	3,6
VAV при 511 сек ⁻¹ (сП)	11	62	123
RI при 511 сек ⁻¹ (сП)	5	27	32
VAV при 51 сек ⁻¹ (сП)	40	410	860
RI при 51 сек ⁻¹ (сП)	17	176	239

После этого изготавливали смешанные цементирующие компоненты, которые представляли собой смеси образцов ЦП Z, F, E, как представлено ниже в таблице.

Определенные индексы реакционной способности при 511 сек⁻¹ и 51 сек⁻¹ для образцов ЦП затем использовали в следующем уравнении для прогнозирования эксплуатационных характеристик каждого смешанного цементирующего компонента.

$$VAV_{blend} = (RI_Z)(SSA_Z)(f_Z)^m + (RI_F)(SSA_F)(f_F)^m + (RI_E)(SSA_E)(f_E)^m.$$

Здесь VAV_{blend} представляет собой оцениваемую среднеобъемную эффективную вязкость для смешанного цементирующего компонента, RI_Z представляет собой индекс

реакционной способности для среднеобъемной эффективной вязкости образца ЦП Z, SSA_Z представляет собой удельную поверхность для образца ЦП Z, f_Z представляет собой массовую долю образца ЦП Z, m составляет 7/3, RI_F представляет собой индекс реакционной способности для среднеобъемной эффективной вязкости образца ЦП F, SSA_F представляет собой удельную поверхность образца ЦП F, f_F представляет собой массовую долю образца ЦП F, RI_E представляет собой индекс реакционной способности для среднеобъемной эффективной вязкости образца ЦП E, SSA_E представляет собой удельную поверхность образца ЦП E, и f_E представляет собой массовую долю образца ЦП E.

Значения оцениваемой среднеобъемной эффективной вязкости при 511 сек^{-1} и 51 сек^{-1} для смешанных цементирующих компонентов затем сравнивали со значениями фактической среднеобъемной эффективной вязкости при 511 сек^{-1} и 51 сек^{-1} для смешанных цементирующих компонентов. Значения среднеобъемной эффективной вязкости для каждого смешанного цементирующего компонента определяли, изготавливая сначала отверждаемую композицию, которая содержала смешанный цементирующий компонент в количестве 100% по отношению к массе цементирующего компонента и воду, в количестве, достаточном для обеспечения плотности, составляющей приблизительно 12 фунтов на галлон (1,438 кг/л). После изготовления значения среднеобъемной эффективной вязкости при 511 сек^{-1} и 51 сек^{-1} определяли согласно рекомендованному практическому руководству API RP 10B.

Графики фактических значений среднеобъемной вязкости в зависимости от оцениваемых значений среднеобъемной вязкости представлены на Фиг. 3 и 4. Как показывает Фиг. 3, приведенные на графике значения при 511 сек^{-1} имеют значение R^2 , составляющее 0,9894, и наклон 0,9275. Как показывает Фиг. 3, приведенные на графике значения при 51 сек^{-1} имеют значение R^2 , составляющее 0,9931, и наклон 0,9814. Значения оцениваемой и фактической прочности при сжатии для смешанных цементирующих компонентов также представлены ниже в таблице 3.

Таблица 3						
Образец ЦП Z (% по отношению к массе цементирующего компонента)	Образец ЦП F (% по отношению к массе цементирующего компонента)	Образец ЦП E (% по отношению к массе цементирующего компонента)	Фактическое значение VAV при 511 сек^{-1} (сП)	Оцениваемое значение VAV при 511 сек^{-1} (сП)	Фактическое значение VAV при 51 сек^{-1} (сП)	Оцениваемое значение VAV при 51 сек^{-1} (сП)
100	0	0	11,0	11,0	40,0	40,0
75	25	0	11,0	8,1	40,0	36,7
25	75	0	24,0	32,2	190,0	211,3
0	100	0	62,0	62,0	410,1	410,0
0	0	100	123,0	123,0	860,2	860,0
25	0	75	66,0	63,4	500,1	441,5
50	0	50	25,0	26,7	160,0	179,0
75	0	25	16,0	10,5	60,0	54,5

Следует понимать, что композиции и способы описываются как "включающие", "содержащие" или "имеющие" разнообразные компоненты или стадии, причем данные композиции и способы могут также составлять, в основном, или составлять полностью разнообразные компоненты и стадии. Кроме того, неопределенные артикли "a" или "an", которые используются в формуле изобретения, определяются в настоящем документе как означающие один или более чем один из вводимых ими элементов.

Для краткости в настоящем документе определенно описываются только некоторые интервалы. Однако интервалы, имеющие любой нижний предел, можно сочетать с любым верхним пределом для описания интервала, который не был описан определенным образом, а также интервал, имеющие любой нижний предел, можно сочетать с любым другим нижним пределом для описания интервала, который не был описан определенным образом; таким же способом интервалы, имеющие любой верхний предел, можно сочетать с любым другим верхним пределом описания интервала, который не был описан определенным образом. Кроме того, если описывается какой-либо численный интервал, имеющий нижний предел и верхний предел, любое число и любой включенный интервал в пределах данного интервала считаются описанными определенным образом. В частности каждый интервал значений (имеющий форму "от приблизительно а до приблизительно b", или, что является эквивалентным, "приблизительно от а до b", или, что является эквивалентным, "приблизительно a-b"), который описан в настоящем документе, следует понимать как определяющий каждое число и интервал в пределах более широкого интервала значений, даже если это не строго не определено. Таким образом, каждая точка или индивидуальная величина может служить в качестве своего собственного нижнего или верхнего предела, с которым сочетается любая другая точка или индивидуальная величина, или любой другой нижний или верхний предел для определения интервала, не определенного конкретным образом.

Таким образом, настоящее изобретение хорошо приспособлено для достижения целей и осуществления преимуществ, которые упомянуты выше, а также те, которые внутренне связаны с ними. Конкретные варианты осуществления, которые описаны выше, представляют собой исключительно иллюстрации, поскольку настоящее изобретение можно модифицировать и осуществлять на практике различными, но эквивалентными способами, которые являются очевидными для специалистов в данной области техники, использующих описание, представленное в настоящем документе. Хотя обсуждаются отдельные варианты осуществления, настоящее изобретение распространяется на все сочетания этих вариантов осуществления. Кроме того, не предусматриваются какие-либо ограничения в отношении деталей конструкции или проекта, которые представлены в настоящем документе, за исключением того, что описано ниже в формуле изобретения. Кроме того, термины в формуле изобретения имеют свои простые обычные значения, если другие условия четко и определенно не установлены патентообладателем; таким образом, оказывается очевидным, что конкретные иллюстративные варианты осуществления, которые описаны выше, можно изменять или модифицировать, причем все такие видоизменения находятся в пределах объема и идеи настоящего изобретения. Если возникает какое-либо противоречие в использовании слова или термина в настоящем описании и в одном или нескольких патентах или других документах, которые можно включать в настоящий документ посредством ссылки, должны быть приняты определения, которые соответствуют настоящему описанию.

(57) Формула изобретения

1. Способ обработки скважины, включающий изготовление текучей среды для обработки, содержащей основную текучую среду и смешанный цементирующий компонент, причем смешанный цементирующий компонент включает печную пыль из двух или более различных источников, где печная пыль выбрана из группы, которую составляют известковая печная пыль, цементная печная пыль и их сочетание, где индекс реакционной способности печной пыли различается для двух или более различных

источников; и введение текучей среды для обработки в ствол скважины.

2. Способ по п. 1, в котором основная текучая среда содержит воду, выбранную из группы, которую составляют пресная вода, соленая вода, солевой раствор и любое их сочетание.

5 3. Способ по п. 1, в котором цементная печная пыль присутствует в текучей среде для обработки в количестве, составляющем от приблизительно 0,01 масс. % до 100 масс. % по отношению к массе смешанного цементирующего компонента.

4. Способ по п. 1, в котором в текучей среде для обработки по существу отсутствуют любые дополнительные цементирующие компоненты, не представляющие собой
10 смешанный цементирующий компонент.

5. Способ по п. 1, в котором текучая среда для обработки используется в стволе скважины для бурения скважины.

6. Способ по п. 1, в котором текучая среда для обработки используется в стволе скважины для заканчивания скважины.

15 7. Способ по п. 1, в котором текучая среда для обработки используется в стволе скважины для стимуляции скважины.

8. Способ по п. 1, в котором количество печной пыли из каждого из двух источников в смешанном цементирующем компоненте регулируется на основании параметра, выбранного из группы, которую составляют прочность при сжатии, модуль упругости,
20 потеря текучей среды, время загустевания, реологическое значение, свободная вода и любое их сочетание.

9. Способ по п. 1, в котором печная пыль включает первую печную пыль из первого источника и вторую печную пыль из второго источника, причем данный способ дополнительно включает определение индекса реакционной способности для первой
25 печной пыли и определение индекса реакционной способности для второй печной пыли, в котором на стадии определения индекса реакционной способности для первой печной пыли используется следующее уравнение:

$$RI_1 = MP_1 / SSA_1,$$

30 в котором RI_1 представляет собой индекс реакционной способности для первой печной пыли, MP_1 представляет собой измеряемый параметр первой печной пыли и SSA_1 представляет собой удельную поверхность первой печной пыли; и

в котором на стадии определения индекса реакционной способности для второй печной пыли используется следующее уравнение:

35 $RI_2 = MP_2 / SSA_2,$

в котором RI_2 представляет собой индекс реакционной способности для второй печной пыли, MP_2 представляет собой измеряемый параметр второй печной пыли и SSA_2 представляет собой удельную поверхность второй печной пыли.

40 10. Способ по п. 9, в котором измеряемый параметр представляет собой прочность при сжатии, модуль Юнга, потерю текучей среды, время загустевания, реологическое значение, свободную воду или любое их сочетание.

11. Способ по п. 10, в котором эксплуатационные характеристики смешанного цементирующего компонента оптимизируются с использованием следующего уравнения:

45 $EP_{blend} = (RI_1)(SSA_1)(f_1)^m + (RI_2)(SSA_2)(f_2)^m,$

в котором EP представляет собой оцениваемый параметр для смешанного цементирующего компонента, f_1 представляет собой массовую долю первой печной

пыли, f_2 представляет собой массовую долю второй печной пыли и m представляет собой число от 1 до 10, и в котором оптимизация включает регулирование f_1 и/или f_2 .

12. Способ цементирования, включающий:

изготовление отверждаемой композиции, содержащей воду и смешанный цементирующий компонент, причем данный смешанный цементирующий компонент включает печную пыль из двух или более различных источников, где печная пыль выбрана из группы, которую составляют известковая печная пыль, цементная печная пыль и их сочетание, где индекс реакционной способности печной пыли различается для двух или более различных источников; и

осуществление отверждения отверждаемой композиции для образования затвердевшей массы.

13. Способ по п. 12, в котором цементная печная пыль присутствует в отверждаемой композиции в количестве, составляющем от приблизительно 0,01% до 100 масс. % по отношению к массе смешанного цементирующего компонента.

14. Способ по п. 12, в котором в отверждаемой композиции по существу отсутствуют любые дополнительные цементирующие компоненты, которые не представляют собой смешанный цементирующий компонент.

15. Способ по п. 12, в котором количество печной пыли из каждого из двух источников в смешанном цементирующем компоненте регулируется на основании параметра, выбранного из группы, которую составляют прочность при сжатии, модуль Юнга, потеря текучей среды, время загустевания, реологическое значение, свободная вода и любое их сочетание.

16. Способ по п. 12, в котором количество печной пыли из каждого из двух источников в смешанном цементирующем компоненте регулируется для изменения прочности при сжатии отверждаемой композиции.

17. Способ по п. 12, в котором печная пыль включает первую печную пыль из первого источника и вторую печную пыль из второго источника.

18. Способ по п. 17, дополнительно включающий регулирование размера частиц первой печной пыли и/или второй печной пыли для изменения прочности при сжатии отверждаемой композиции.

19. Способ по п. 17, в котором размер частиц первой печной пыли и/или второй печной пыли уменьшается посредством измельчения для регулирования прочности при сжатии отверждаемой композиции.

20. Способ по п. 17 дополнительно включающий определение индекса реакционной способности для первой печной пыли и определение индекса реакционной способности для второй печной пыли, в котором на стадии определения индексов реакционной способности для первой печной пыли используется следующее уравнение:

$$RI_1 = MP_1 / SSA_1,$$

в котором RI_1 представляет собой индекс реакционной способности для первой печной пыли, MP_1 представляет собой измеряемый параметр первой печной пыли и SSA_1 представляет собой удельную поверхность первой печной пыли; и

в котором на стадии определения индекса реакционной способности для второй печной пыли используется следующее уравнение:

$$RI_2 = MP_2 / SSA_2,$$

в котором RI_2 представляет собой индекс реакционной способности для второй печной пыли, MP_2 представляет собой измеряемый параметр второй печной пыли и

SSA₂ представляет собой удельную поверхность второй печной пыли.

21. Способ по п. 20, в котором индекс реакционной способности для первой печной пыли и индекс реакционной способности для второй печной пыли изменяется в соотношении, составляющем, по меньшей мере, приблизительно 2:1.

22. Способ по п. 20, в котором индекс реакционной способности для первой печной пыли и индекс реакционной способности для второй печной пыли изменяется в соотношении, составляющем, по меньшей мере, приблизительно 100:1.

23. Способ по п. 20, в котором первый печная пыль и второй печная пыль имеют различные индексы реакционной способности.

24. Способ по п. 20, в котором измеряемый параметр представляет собой прочность при сжатии, модуль Юнга, потерю текучей среды, время загустевания, реологическое значение или любое их сочетание.

25. Способ по п. 20, в котором эксплуатационные характеристики смешанного цементирующего компонента оптимизируются с использованием следующего уравнения:

$$EP_{blend} = (RI_1)(SSA_1)(f_1)^m + (RI_2)(SSA_2)(f_2)^m,$$

в котором EP представляет собой оцениваемый параметр для смешанного цементирующего компонента, f_1 представляет собой массовую долю первой печной пыли, f_2 представляет собой массовую долю второй печной пыли и m представляет собой число от 1 до 10 и причем оптимизация включает регулирование f_1 и/или f_2 .

26. Способ по п. 12, дополнительно включающий введение отверждаемой композиции в подземный пласт, через который проходит ствол скважины.

27. Способ по п. 26, в котором отверждаемая композиция используется для первичного цементирования в стволе скважины.

28. Способ по п. 26, в котором отверждаемая композиция используется для восстановительного цементирования в стволе скважины.

29. Способ цементирования, включающий:

изготовление отверждаемой композиции, содержащей воду и смешанный цементирующий компонент, причем данный смешанный цементирующий компонент включает печную пыль и дополнительный цементирующий компонент, причем каждый компонент, включая печную пыль и дополнительный цементирующий компонент, имеет определенный индекс реакционной способности, где определенный индекс реакционной способности вычисляют с использованием следующего уравнения:

$$RI = MP/SSA,$$

в котором RI представляет собой индекс реакционной способности, такой как прочность при сжатии, модуль Юнга, потеря текучей среды, время загустевания и их сочетания, MP представляет собой измеряемый параметр цементирующего компонента и SSA представляет собой удельную поверхность цементирующего компонента;

оптимизацию эксплуатационных характеристик смешанного цементирующего компонента; и

осуществление отверждения отверждаемой композиции для образования затвердевшей массы.

30. Способ по п. 29, в котором печная пыль выбирается из группы, которую составляют известковая печная пыль, цементная печная пыль и их сочетание.

31. Способ по п. 29, в котором печная пыль включает цементную печную пыль, причем цементная печная пыль присутствует в отверждаемой композиции в количестве, составляющем от приблизительно 0,01% до 100 масс. % по отношению к массе смешанного цементирующего компонента.

32. Способ изготовления смешанного цементирующего компонента, включающий: обеспечение первой печной пыли, причем первая печная пыль поступает из первого источника;

обеспечение второй печной пыли, причем вторая печная пыль поступает из второго источника; и

смешивание, по меньшей мере, первой печной пыли и второй печной пыли для получения смешанного цементирующего компонента,

в котором первая печная пыль и вторая печная пыль, каждая, выбрана из группы, которую составляют известковая печная пыль, цементная печная пыль и их сочетание, где реакционная способность первой печной пыли и второй печной пыли различается для первого источника и второго источника.

33. Способ измерения реакционной способности печной пыли, включающий:

измерение параметра печной пыли, такого как прочность при сжатии, модуль Юнга, потеря текучей среды, время загустевания и их сочетания, причем данная печная пыль имеет удельную поверхность; и

деление измеряемого параметра на удельную поверхность печной пыли для получения индекса реакционной способности печной пыли.

34. Текучая среда для обработки скважины, содержащая:

основную текучую среду; и

смешанный цементирующий компонент, включающий печную пыль из двух или более различных источников, где печная пыль выбрана из группы, которую составляют известковая печная пыль, цементная печная пыль и их сочетание, где индекс реакционной способности печной пыли различается для двух или более различных источников.

35. Текучая среда для обработки скважины по п. 34, содержащая воду, выбранную из группы, которую составляют пресная вода, соленая вода, солевой раствор и любое их сочетание.

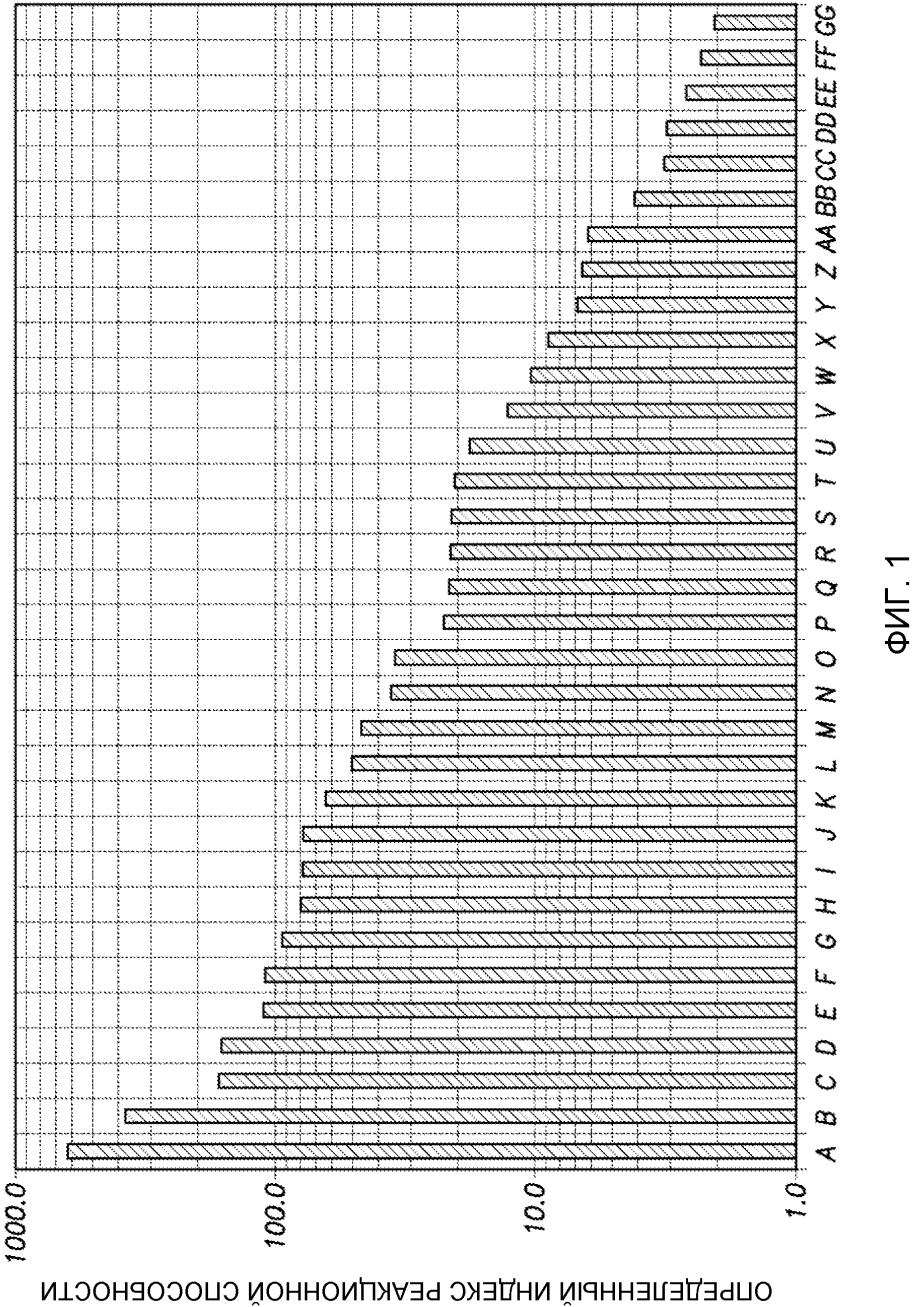
36. Текучая среда для обработки скважины по п. 34, в которой цементная печная пыль присутствует в текучей среде для обработки в количестве, составляющем от приблизительно 0,01 масс. % до 100 масс. % по отношению к массе смешанного цементирующего компонента.

37. Текучая среда для обработки скважины по п. 34, в которой по существу отсутствуют любые дополнительные цементирующие компоненты, не представляющие собой смешанный цементирующий компонент.

1

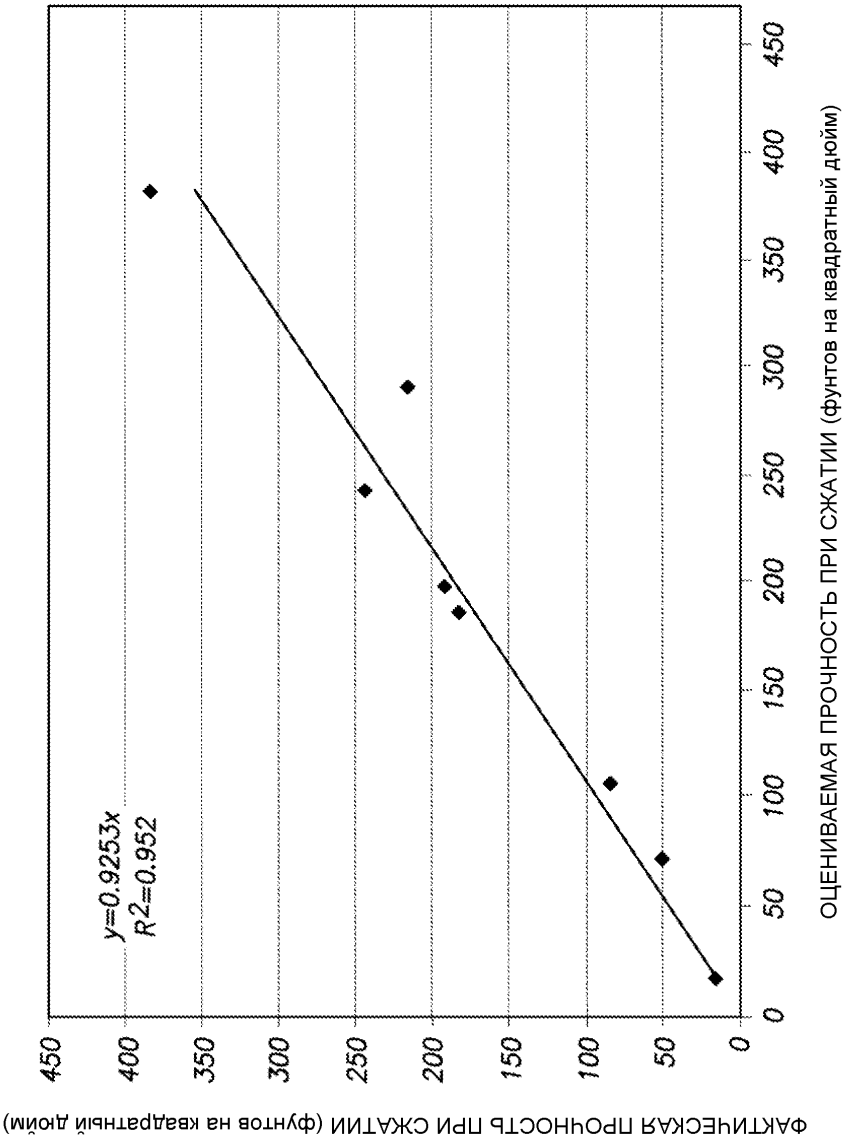
524332

1/4



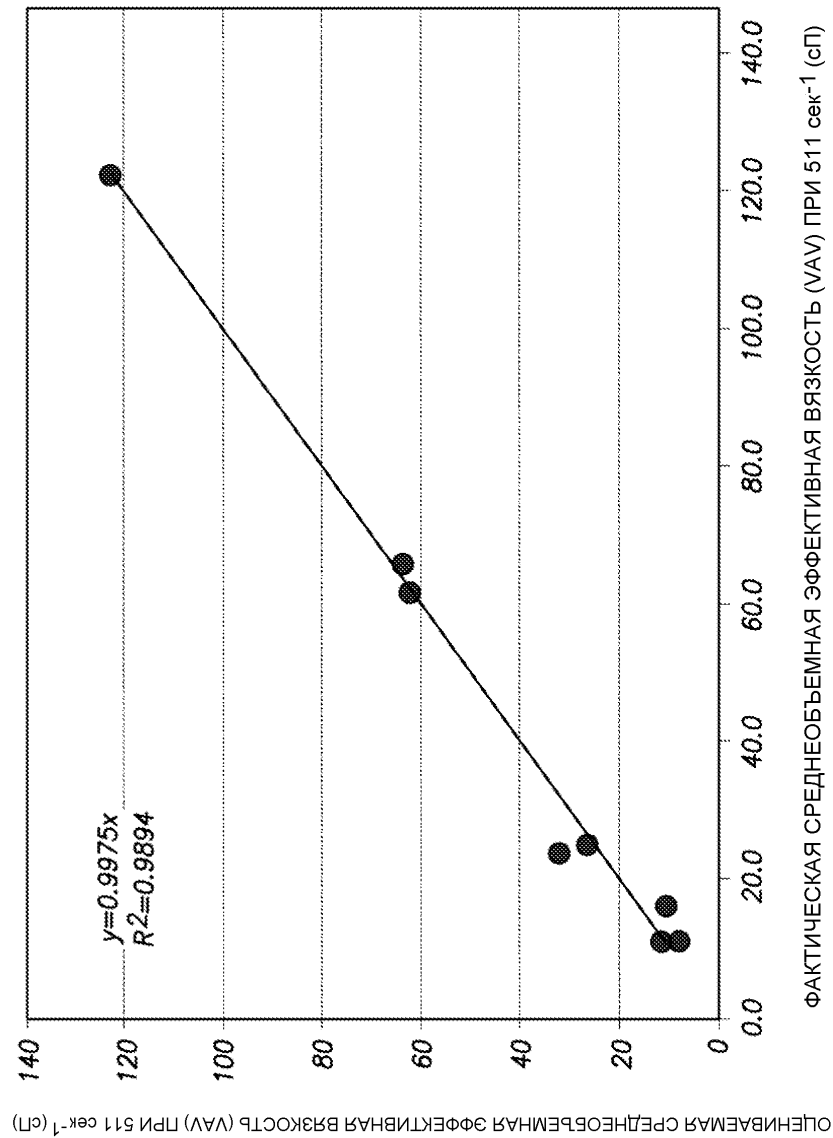
2

2/4



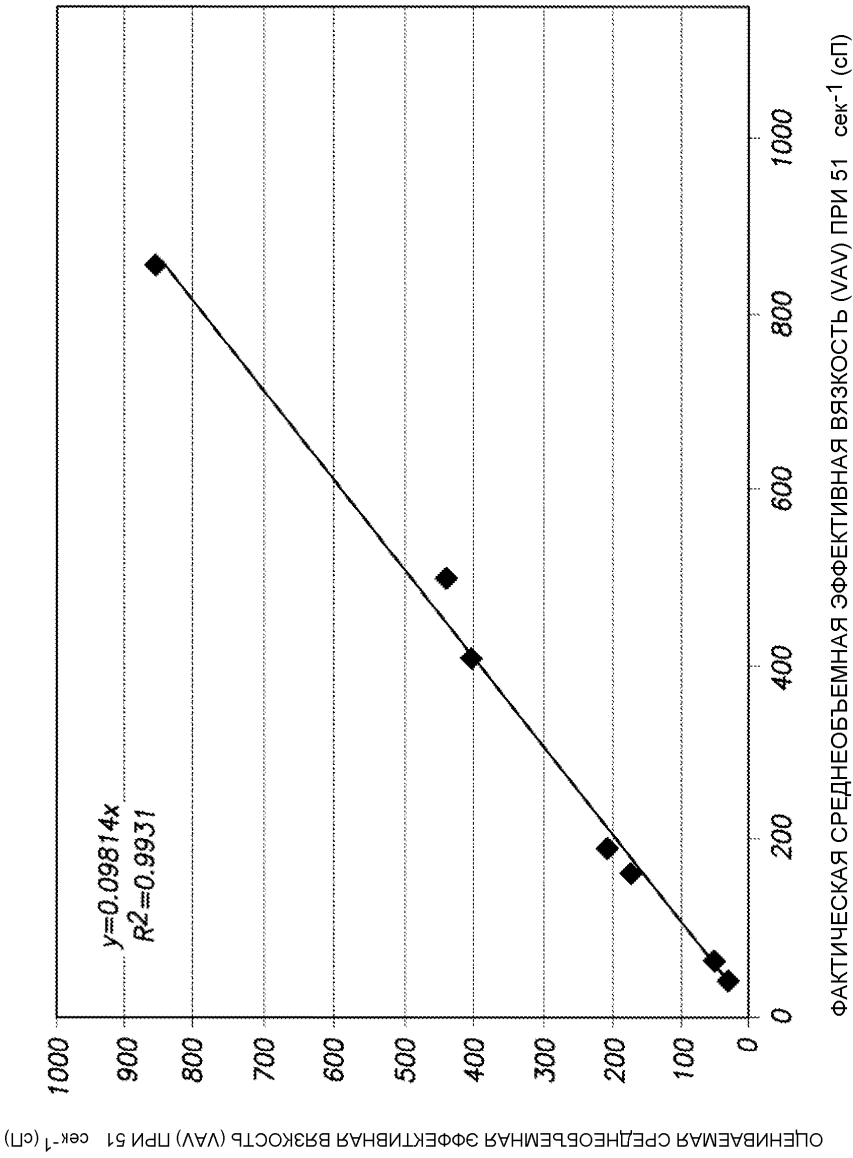
ФИГ. 2

3/4



ФИГ. 3

4/4



ФИГ. 4