



(51) МПК  
*C09K 8/80* (2006.01)  
*E21B 43/22* (2006.01)  
*E21B 43/267* (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012132179/03, 30.12.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 30.12.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2009

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2014 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 20.04.2014 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 2008/0135242 A1, 12.06.2008. EA 11696 A1, 28.04.2009. US 6742590 B1, 01.06.2004. US 5582249 A, 10.12.19965. WO 2008/096188 A1, 14.08.2008. RU 2358100 C2, 10.01.2009. WO 2008/093264 A1, 07.08.2008

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 30.07.2012

(86) Заявка РСТ:  
 RU 2009/000750 (30.12.2009)

(87) Публикация заявки РСТ:  
 WO 2011/081546 (07.07.2011)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,  
 ООО "Юридическая фирма Городиский и  
 Партнеры"

(72) Автор(ы):

**МЕДВЕДЕВ Анатолий Владимирович (RU),  
 ТИТКОВ Александр Игоревич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ Б.В. (NL)**

**(54) СПОСОБ КОНСОЛИДАЦИИ ЖИДКОСТНЫХ СТАДИЙ В ЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ЗАКАЧИВАНИЯ В СКВАЖИНУ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к консолидации жидкостных стадий и применимо в жидкостной системе, используемой для закачивания в скважину. Способ поддержания консолидации жидкостных стадий в жидкостной системе, используемой для закачивания в скважину, содержащей контактирующую жидкость иного характера, прилегающую к жидкостной стадии, включает подмешивание твердых частиц по меньшей мере к жидкостной стадии или к соседней контактирующей жидкости в количестве, при котором между стадией и соседней

контактирующей жидкостью образуются дискретные границы контактирующей жидкости, и закачивание жидкостной системы в ствол скважины. Способ поддержания консолидации жидкостных стадий в жидкостной системе, используемой для закачивания в скважину, содержащей контактирующую жидкость иного характера, прилегающую к жидкостной стадии, включает подмешивание твердых частиц по меньшей мере к жидкостной стадии или к соседней контактирующей жидкости в количестве, при котором в условиях ламинарного режима

движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные границы контактирующей жидкости, и по меньшей мере часть твердых частиц обладает адгезионными свойствами, способствующими агрегации твердых частиц внутри по меньшей

мере жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости, и закачивание жидкостной системы в ствол скважины. Технический результат - обеспечение успешного гидроразрыва. 2 н. и 40 з.п. ф-лы, 3 пр., 4 ил.

R U 2 5 1 3 5 6 8 C 2

R U 2 5 1 3 5 6 8 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C09K 8/80* (2006.01)  
*E21B 43/22* (2006.01)  
*E21B 43/267* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012132179/03, 30.12.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**30.12.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **30.12.2009**

(43) Application published: **10.02.2014** Bull. № 4

(45) Date of publication: **20.04.2014** Bull. № 11

(85) Commencement of national phase: **30.07.2012**

(86) PCT application:  
**RU 2009/000750 (30.12.2009)**

(87) PCT publication:  
**WO 2011/081546 (07.07.2011)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**MEDVEDEV Anatolij Vladimirovich (RU),  
TITKOV Aleksandr Igorevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**ShLJuMBERGER TEKNOLODZhi B.V. (NL)**

(54) **METHOD FOR CONSOLIDATION OF LIQUID STAGES IN FLUID SYSTEM FOR INJECTION INTO WELL**

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: invention relates to consolidation of liquid stages and can be applied to fluid system used for injection into a well. Method for consolidation maintenance of liquid stages in the fluid system used for injection into a well containing an interfacial fluid of another origin adjoining to the liquid stage lies in mixing of solid particles to at least liquid stage or to adjoining interfacial fluid in quantity when discrete borders of the interfacial fluid are formed between the stage and adjoining interfacial fluid and further injection of fluid system into the well bore. Method for consolidation maintenance of liquid stages in the fluid system

used for injection into the well containing an interfacial fluid of another origin adjoining to the liquid stage lies in mixing of solid particles to at least liquid stage or to adjoining interfacial fluid in quantity when in streamline conditions discrete borders of the interfacial fluid are formed between the stage and adjoining interfacial fluid and at least a part of solid particles have adhesion properties promoting aggregation of solid particles at least inside the liquid stage or adjoining interfacial fluid and further injection of fluid system into the well bore.

EFFECT: ensuring successful hydraulic fracturing.  
42 cl, 3 ex, 4 dwg

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0001] Положения настоящего раздела содержат только исходную информацию, относящуюся к раскрытию настоящего изобретения, и не могут представлять известный уровень техники.

5 [0002] При строительстве и разработке скважин, сформированных в подземных пластах, таких как скважины для добычи нефти и газа, выполняются различные операции, требующие закачивания жидкостей различных типов в ствол скважины и/или в пласт, окружающий ствол скважины.

10 [0003] Например, в процессе бурения скважины буровые растворы или промывочные жидкости, как правило, циркулируют через бурильную колонну, буровое долото на конце бурильной колонны и затрубное пространство между просверленным стволом скважины и бурильной колонной. Циркулирующая промывочная жидкость используется для выноса пород пласта, присутствующих в виде отходов бурения или выбуренной породы, которые удаляются из ствола скважины в процессе циркулирования  
15 промывочной жидкости обратно к поверхности. После завершения бурения цементный состав может использоваться для цементирования обсадной колонны или хвостовика в стволе скважины. Промывочную жидкость часто удаляют из скважины путем закачивания цемента в ствол скважины. Однако недостаточная стабильность поверхности раздела между промывочной жидкостью и цементом способна привести  
20 к недопустимому вытеснению промывочной жидкости цементом, которое может характеризоваться неравномерным и/или неполным цементированием или образованием цементных выступов, что может стать причиной нарушений разобщенности пластов, образования микрозоров между обсадной колонной и цементным камнем и т.д.

[0004] Гидравлический разрыв пласта (ГРП) представляет собой еще одну  
25 выполняемую в скважинах операцию, которая используется для увеличения добычи флюидов из подземных пластов. ГРП включает закачивание жидкостей в ствол скважины при очень высоких значениях расхода и давления в целях содействия растрескиванию и разрыву окружающего пласта. При ГРП на определенных этапах операции в пласт вместе с жидкостями разрыва, как правило, вводится расклинивающий агент.  
30 Расклинивающий агент (например, песок) доставляется в образованные трещины пласта и, таким образом, предотвращает смыкание трещины при уменьшении давления. Это позволяет флюидам протекать из пласта через трещины в ствол скважины, обеспечивая их добычу. Существуют различные способы гидроразрыва таких пластов. При одном из методов операция ГРП выполняется с использованием нескольких стадий или  
35 импульсов закачки расклинивающего агента для обеспечения его неоднородного размещения. Это осуществляется путем попеременной закачки содержащей и не содержащей расклинивающий агент жидкостей, с тем чтобы в трещинах пласта образовалось несколько кластеров расклинивающего агента. При таких ГРП желательно получить отдельные концентрированные кластеры расклинивающего агента.  
40 Недостаточная стабильность поверхности раздела жидкостей между стадиями, содержащими и не содержащими расклинивающий агент, может привести к диспергированию расклинивающего агента, тем самым препятствуя эффективному размещению кластеров расклинивающего агента.

[0005] При закачивании в скважину, когда последовательно закачиваются жидкости,  
45 имеющие различную природу или характеристики, стабилизация поверхности раздела между жидкостями может оказаться существенной для обеспечения успешного гидроразрыва или работы. Настоящее изобретение относится к обеспечению стабилизации поверхности раздела между такими жидкостями.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0006] Настоящее изобретение относится к способу поддержания консолидации жидкостных стадий в жидкостной системе, используемой для закачивания в скважину. Жидкостная система содержит контактирующую жидкость иного характера, прилегающую к жидкостной стадии. Данный способ реализуется путем подмешивания твердых частиц по меньшей мере к жидкостной стадии или к соседней контактирующей жидкости в количестве, при котором в условиях ламинарного режима движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные жидкостные границы. Жидкостная система закачивается в ствол скважины, образованной в подземном пласте.

[0007] В некоторых вариантах осуществления твердые частицы подмешиваются как к жидкостной стадии, так и к соседней контактирующей жидкости, тогда как в других вариантах твердые частицы подмешиваются либо только к жидкостной стадии, либо к соседней контактирующей жидкости.

[0008] В некоторых применениях жидкостная стадия содержит расклинивающий материал, а соседняя контактирующая жидкость по существу не содержит расклинивающий агент. В других применениях как жидкостная стадия, так и соседняя контактирующая жидкость не содержат расклинивающий агент.

[0009] В некоторых вариантах осуществления жидкостная система состоит из загущенных жидкостей. Соседняя контактирующая жидкость может представлять собой буровой раствор, при этом жидкостная стадия может представлять собой цемент или жидкость для вытеснения бурового раствора.

[0010] Твердые частицы могут быть разлагаемыми или неразлагаемыми, а также адгезионными или неадгезионными. Адгезионные свойства адгезионных веществ могут изменяться после закачивания жидкостной системы в ствол скважины. Твердые частицы могут состоять по меньшей мере из двухмерных или трехмерных частиц и иметь форму волокон. Физические свойства твердых частиц могут изменяться по меньшей мере вследствие 1) взаимодействия твердых частиц по меньшей мере с жидкостной стадией или соседней контактирующей жидкостью, к которым подмешиваются твердые частицы, или 2) скважинных условий. Физические свойства твердых частиц, способные изменяться, могут включать по меньшей мере гибкость, форму, клейкость, разлагаемость и прочность.

[0011] В некоторых вариантах осуществления твердые частицы могут добавляться по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости в концентрации приблизительно от 0,1 г/л до 100 г/л. В других вариантах осуществления твердые частицы могут добавляться по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости в концентрации приблизительно 10 г/л или более.

[0012] В некоторых вариантах осуществления твердые частицы добавляются к жидкостной стадии, содержащей расклинивающий материал, при этом по меньшей мере часть расклинивающего материала обладает адгезионными свойствами, способствующими агрегации расклинивающего материала и твердых частиц.

[0013] Жидкостная система может состоять из двух или более фаз жидкостных стадий и соседних контактирующих жидкостей. Твердые частицы могут добавляться по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости каждой фазы в количестве, при котором в условиях ламинарного режима движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные жидкостные границы.

[0014] В некоторых применениях вязкость базовых жидкостей, образующих

жидкостную стадию, и соседней контактирующей жидкости является по существу одинаковой.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

5 [0015] Для более полного понимания настоящего изобретения и его преимуществ далее приводятся ссылки на следующие описания к прилагаемым чертежам.

[0016] На фиг.1 представлена схема системы регистрации рентгеновского излучения, которая использовалась в Примере 1.

10 [0017] На фиг.2 представлена зависимость концентраций стадий расклинивающего агента от расстояния для двух циркулирующих жидкостей, где одна жидкость содержит частицы волокна в количестве, обеспечивающем образование дискретных жидкостных границ, а другая жидкость не содержит таких частиц волокна.

[0018] На фиг.3 представлен график вязкости жидкости при различных скоростях сдвига для жидкостей, содержащих различные количества частиц волокна.

15 [0019] На фиг.4 представлен график предела текучести различных жидкостей, содержащих различные количества частиц волокна.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0020] Это описание и примеры представлены исключительно для иллюстрации различных вариантов осуществления настоящего изобретения и не должны толковаться как ограничивающие объем и применимость настоящего изобретения. Хотя любые 20 составы согласно настоящему изобретению могут быть описаны в настоящем документе как содержащие конкретные материалы, следует понимать, что в некоторых случаях состав может содержать два или более химически различных материалов. Кроме того, в состав могут входить компоненты, отличные от уже указанных. Хотя изобретение может быть описано на примере обработки вертикальных скважин, оно в равной 25 степени применимо к скважинам любой ориентации. Описание изобретения дается на примере скважин для добычи углеводородов, но подразумевается, что настоящее изобретение может также использоваться в скважинах для добычи других жидкостей, таких как вода или диоксид углерода, или, например, в нагнетательных скважинах и скважинах хранения. Подразумевается также, что в рамках настоящего технического 30 описания при указаниях на какой-либо диапазон используемых, соответствующих и т.п. концентраций или количеств имеются в виду любые концентрации или количества в пределах данного диапазона, включая начальную и конечную точки. Кроме того, каждое числовое значение следует сначала читать как имеющее определение «приблизительно» (если такое явно выраженное определение отсутствует в тексте), а 35 в дальнейшем читать как не имеющее такого определения, если в контексте не указано иное. Например, «диапазон от 1 до 10» означает указание на все без исключения возможные числа в непрерывном множестве между приблизительно 1 и приблизительно 10. Иными словами, в случае, когда дается некоторый диапазон, даже если лишь несколько конкретных точек данных указаны в явном виде или подразумеваются внутри 40 этого диапазона, или даже если никакие точки данных не подразумеваются внутри этого диапазона, следует иметь в виду, что авторы изобретения учитывают и понимают, что все без исключения точки данных внутри этого диапазона рассматриваются в качестве заданных, и что авторы изобретения обладают всем диапазоном и всеми точками внутри указанного диапазона.

45 [0021] Волокна включены в состав жидкостей ГРП в качестве средства для улучшения поддержания расклинивающего агента во взвешенном состоянии, чтобы воспрепятствовать осаждению расклинивающего агента и уменьшить количество загустителя, необходимое для данной жидкости. Кроме того, волокна используются

для предотвращения выноса расклинивающего агента. Волокна используются также в цементирующих составах для улучшения прочности цемента. Однако было установлено, что добавление волокон и других твердых частиц в соответствующих количествах может улучшить стабильность поверхности раздела жидкостей.

5 [0022] Флюиды и флюидные («жидкостные») системы, описанные в настоящем документе, представляют собой жидкости. В данном контексте предполагается, что термин «флюид» и аналогичные выражения охватывают жидкие флюиды, которые могут быть однофазными или многофазными, такие как флюиды, которые включают газы (например, пены) и твердые вещества или частицы (например, глинистые растворы),  
10 но действуют как жидкости или преимущественно образованы жидкими компонентами. В некоторых вариантах осуществления базовые жидкости могут обладать вязкостью менее  $1000 \text{ сП}$  при  $100 \text{ с}^{-1}$ .

[0023] Настоящее изобретение относится к жидкостям и жидкостным системам, которые применяются в скважинах, образованных в подземных пластах. В частности,  
15 изобретение относится к жидкостным системам, состоящим из двух или более контактирующих жидкостей, каждая из которых может иметь разный характер. Так, например, у жидкостей гидроразрыва контактирующие жидкости могут представлять собой жидкость разрыва или не содержащую расклинивающий агент жидкость и содержащую расклинивающий агент жидкость, каждая из которых закачивается в ствол  
20 скважины для содействия гидроразрыву. При операциях цементирования контактирующие жидкости могут представлять собой буровой раствор и цемент, или жидкость для вытеснения бурового раствора, или буферную жидкость. В каждом случае контактирующие жидкости имеют иной характер или состав и могут использоваться для различных целей. Их свойства (например, плотность, электропроводность,  
25 прозрачность и т.д.) могут резко различаться. Контактные жидкости могут закачиваться в скважину в виде жидкостных стадий или образовывать стадию после закачивания в скважину. В данном контексте предполагается, что выражение «стадия» охватывает единую сплошную массу жидкости, которая в общем случае имеет один и тот же характер или состав, или одно и то же назначение. Настоящее изобретение  
30 способствует консолидации жидкостных стадий или контактирующих жидкостей.

[0024] Хотя обсуждение в значительной степени может быть посвящено жидкостям гидроразрыва, для которых изобретение подходит особенно хорошо, из нижеследующего описания для специалистов в данной области очевидно, что оно может применяться и к другим жидкостям и жидкостным системам, содержащим другие контактирующие  
35 жидкости.

[0025] Способ настоящего изобретения включает подмешивание твердых частиц к жидкостной стадии таким образом, чтобы жидкостная стадия имела дискретные границы жидкости. В частности, способ настоящего изобретения включает подмешивание  
40 твердых частиц к жидкостной стадии, соседней контактирующей жидкости или обеим в количестве или количествах, при которых в условиях ламинарного режима движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные жидкостные границы. Такой ламинарный режим движения аналогичен условиям движения в трещинах пласта и представляет собой самый неблагоприятный сценарий.

[0026] Обеспечив в составе жидкости достаточное количество твердых частиц нужного типа, можно значительно повысить предел текучести жидкости, содержащей твердые частицы, и тем самым способствовать стабилизации поверхности раздела между жидкостями. В некоторых применениях предел текучести жидкости может достигать 25 Па, 30 Па, 40 Па, 50 Па, 60 Па, 70 Па, 80 Па, 100 Па или большего значения при

загрузке твердых частиц или волокна в количестве 10 фунтов/1000 галлон (1,2 кг/1000 л) или более. Это в целом поддерживает жидкость, содержащую твердые частицы, в ненарушенном или консолидированном состоянии при ее транспортировке на расстояние до нескольких тысяч метров вниз по стволу скважины и в пласт и способствует

5 образованию дискретных жидкостных границ и стабилизации границы раздела контактирующих жидкостных стадий.

[0027] Жидкость может также характеризоваться измерениями вязкости с использованием системы измерения вязкости жидкости методом шарика, в которой жидкость, содержащая твердые частицы или волокна, при скорости сдвига  $1 \text{ с}^{-1}$

10 демонстрирует увеличение вязкости по меньшей мере в 3 раза большее по сравнению с вязкостью той же жидкости, не содержащей твердых частиц. В некоторых применениях увеличение вязкости, обусловленное включением волокон или твердых частиц, может в 5 или даже 10 и более раз превышать вязкость той же жидкости без твердых частиц,

15 когда измерения проводятся при скорости сдвига  $1 \text{ с}^{-1}$ .

[0028] Диспергирование жидкостной стадии может быть охарактеризовано с помощью эксперимента по изучению переноса, в котором содержащая твердые частицы жидкостная стадия вводится в канал с последующим введением туда соседней контактирующей стадии. Измеряя длину жидкостной стадии в канале при движении

20 жидкости на выбранное расстояние, можно охарактеризовать диспергирование жидкости. Диспергирование жидкостной стадии при движении на выбранное расстояние может характеризоваться приведенной ниже формулой (1):

$$D=(L_a-L_b)/L_b \times 100\% \quad (1)$$

где D - диспергирование жидкостной стадии,  $L_a$  - длина жидкостной стадии, включающей твердые частицы, после перемещения на выбранное расстояние,  $L_b$  - длина жидкостной стадии, включающей твердые частицы, до перемещения на выбранное

25 расстояние. В соответствии с настоящим изобретением диспергирование D жидкостной стадии должно быть меньше 100%. В некоторых применениях D может быть меньше 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5% или менее.

[0029] Твердые частицы, применяемые для стабилизации поверхности раздела жидкостей, могут представлять собой одно-, двух- или трехмерные частицы. Твердые частицы могут включать продолговатые частицы, такие как волокна, которые могут быть прямыми, кривыми, изогнутыми или волнистыми. Другие частицы могут, в

30 принципе, иметь сферическую, прямоугольную, многоугольную и другие формы, без ограничения. Частицы могут быть одиночными или образованными из нескольких тел, которые связаны или соединены вместе. Частицы могут состоять из основного тела частицы, имеющего один или несколько выступов, например, образуя звездообразную форму. Частицы могут иметь форму пластинок, дисков, стержней, лент и т.д. Частицы

35 также могут быть аморфными или иметь неправильную форму, быть жесткими, гибкими или пластически деформируемыми. Волокна или продолговатые частицы могут использоваться в виде пучков. Может применяться комбинация частиц различной формы, при этом твердые частицы могут образовывать пространственную сетку внутри жидкости, с которой они используются. Волокна или другие продолговатые твердые

40 частицы могут иметь длину в диапазоне от менее 1 мм до 30 мм или более. В некоторых вариантах осуществления волокна или продолговатые твердые частицы могут иметь длину 12 мм или менее и диаметр или поперечный размер приблизительно 200 микрон или менее, при этом типичным является диапазон приблизительно от 10 микрон до 200 микрон. В случае продолговатых частиц соотношение между двумя из трех размеров

45



может быть более чем 5 к 1. В некоторых вариантах осуществления волокна или продолговатые твердые частицы могут иметь длину больше 1 мм, при этом типичными являются диапазоны приблизительно от 1 мм до 30 мм, приблизительно от 2 мм до 25 мм, приблизительно от 3 мм до 20 мм. В некоторых применениях волокна или  
5 продолговатые твердые частицы могут иметь длину приблизительно от 1 мм до 10 мм (например, 6 мм). Волокна или продолговатые твердые частицы могут иметь диаметр или поперечный размер от приблизительно 5 до 100 микрон и/или длину приблизительно от 0,1 до 20, в частности длину приблизительно от 0,15 до 6.

[0030] Твердые частицы могут быть образованы из разлагаемых или неразлагаемых  
10 материалов. Эти материалы могут быть органическими или неорганическими. Неразлагаемыми являются материалы, у которых частицы остаются практически в твердом состоянии внутри скважинных жидкостей. Примерами таких материалов являются стекло, керамика, базальт, углерод и соединения на основе углерода, металлы и металлические сплавы и т.д. Полимеры и пластмассы, которые не поддаются  
15 разложению в скважинных жидкостях, также могут использоваться в качестве неразлагаемых твердых частиц. К ним могут относиться пластические материалы с высокой плотностью, которые являются нефтестойкими и имеют степень кристалличности более 10%. Другими неограничивающими примерами полимерных материалов являются нейлоны, акрилы, стиролы, полиэферы, полиэтилен, нефтестойкие  
20 термоотверждающиеся смолы и их комбинации.

[0031] К разлагаемым твердым частицам могут относиться такие материалы, которые способны размягчаться, растворяться, вступать в реакцию или иным образом поддаваться разложению в скважинных жидкостях. Такие материалы могут быть растворимыми в жидкостях на водной основе или в углеводородных флюидах. Могут  
25 применяться разлагающиеся под действием нефти твердые частицы, которые разлагаются в добываемых жидкостях. Неограничивающие примеры разлагаемых материалов могут включать, помимо прочего, поливиниловый спирт, полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен, растворимые соли, полисахариды, парафины, бензойную кислоту, материалы на нафталиновой основе, оксид магния, бикарбонат  
30 натрия, карбонат кальция, хлорид натрия, хлорид кальция, сульфат аммония, растворимые смолы и тому подобные вещества или их комбинации. Могут также использоваться твердые частицы, деградирующие при смешивании с отдельным веществом, которое закачивается в скважину, смешиваясь с твердыми частицами и разлагая их. Разлагаемые твердые частицы могут также включать те, которые  
35 образуются из твердокислотных материалов-прекурсоров. К таким материалам могут относиться полимолочная кислота (ПМК), полигликолевая кислота (ПГК), карбоновая кислота, лактид, гликолид, сополимеры ПМК и ПГК и тому подобные вещества, или их комбинации.

[0032] Во многих применениях волокна используются в качестве твердых частиц -  
40 самостоятельно или в сочетании с другими неволоконистыми твердыми частицами. Волокна могут быть любым волоконистым материалом, включая, помимо прочего, натуральные органические волокна, измельченные растительные материалы, синтетические полимерные волокна (не ограничивающими примерами которых являются полиэфир, полиарамид, полиамид, новолоид или полимер новолоидного типа),  
45 фибриллированные синтетические органические волокна, керамические волокна, неорганические волокна, металлические волокна, металлические нити, углеродные волокна, стеклянные волокна, керамические волокна, натуральные полимерные волокна и их смеси. Особенно полезными волокнами являются полиэфирные волокна с

покрытием, обеспечивающим высокую степень гидрофильности, такие как, помимо прочего, полиэтилентерефталатовые волокна DACRON®, поставляемые компанией Invista Corp., Вичита, Канзас, США, 67220. Другими примерами полезных волокон являются, помимо прочего, полиэфирные волокна на основе полимолочной кислоты, 5 полиэфирные волокна на основе полигликолевой кислоты, поливинилспиртовые волокна и т.п.

[0033] Волокна или твердые частицы могут быть образованы или снабжены материалом, обеспечивающим клейкие или адгезионные свойства. Коэффициент адгезии у адгезионных материалов может изменяться как в сторону увеличения, так и 10 уменьшения. Твердые частицы могут иметь собственную клейкую поверхность либо подвергаться химической или физической модификации для обеспечения адгезионных свойств на месте проведения работ. Такая модификация может предусматривать нанесение на твердые частицы адгезионного покрытия. Покрытие на твердые частицы может наноситься предварительно либо добавляться в процессе работы при добавлении 15 частиц к закачиваемой в скважину жидкости на поверхности. Покрытие или адгезионная добавка могут смачивать и покрывать поверхность твердых частиц, обеспечивая адгезионные свойства. В некоторых случаях на поверхность твердых частиц может наноситься съемное неадгезионное покрытие при наличии клейкой поверхности, служащей основой для неадгезионного защитного покрытия. Неадгезионное покрытие 20 может в дальнейшем быть удалено, с тем чтобы открыть находящееся под ним адгезионное вещество.

[0034] Адгезионные покрытия также могут быть удаляемыми. Адгезионные или неадгезионные покрытия могут удаляться химическими или физическими способами, например при помощи растворения в жидкостях. Адгезионные свойства также могут 25 изменяться, например, при изменениях температуры, вследствие которых адгезионные свойства могут усиливаться или ослабевать. Изменения толщины съемных покрытий могут увеличивать или уменьшать продолжительность действия адгезионных или неадгезионных свойств. Примеры адгезионных материалов, способных придавать 30 твердым частицам адгезионные свойства, включают полимерные покрытия, в которых полимер находится в вязкоупругом состоянии либо достигает или превышает свою температуру плавления. Другим примером является покрытие частиц концентрированным полимерным раствором. Полимерный раствор может вводиться в форме эмульсии. Другие примеры адгезионных соединений можно найти в международных публикациях WO2009/078745A1 и WO 2009/079231A2, каждая из которых 35 включена в настоящий документ посредством ссылки.

[0035] Смолы, такие как указанные для применения с расклинивающими материалами, описанными в дальнейшем тексте, также могут обеспечивать адгезионные свойства. Твердые частицы могут иметь самоклеющуюся поверхность, при этом частицы проявляют тенденцию к образованию агломераций или склеиванию с другими частицами. 40 В некоторых вариантах осуществления твердые частицы могут быть несцепляющимися с расклинивающим агентом или другими поверхностями, такими как обвязка, насосы и НКТ в стволе скважины. Твердые частицы могут иметь гидрофильные или гидрофобные покрытия или выполняться из таких материалов, чтобы обеспечить сродство или отсутствие сродства к определенным жидкостям или материалам.

[0036] В некоторых вариантах осуществления физические свойства материала твердых частиц могут изменяться. Это может быть обусловлено взаимодействием твердых частиц и жидкости, с которой они смешиваются, или быть вызвано скважинными условиями. Такое изменение физических свойств может включать изменения клейкости

и разлагаемости, как уже обсуждалось. Кроме того, твердые частицы могут претерпевать изменения формы, размера, гибкости, прочности и т.д. Такие изменения могут являться результатом термоотверждения, термопластических свойств, фазовых изменений и т.д. Частицы в жидкостях могут разбухать, тем самым изменяясь по форме и/или размеру.

5 Эти изменения также могут быть результатом химического взаимодействия с введенными или добавленными к жидкостям соединениями. Некоторые материалы, отличающиеся таким изменением свойств, включают полимеры с эффектом запоминания формы, как показано в журнале *Journal of Material Science*, том 43; стр. 254-269, 2008, который включен в настоящий документ посредством ссылки. Изменения могут также

10 происходить за счет размягчения или плавления полимера, например, поли (метилметакрилат) (ПММА) размягчается при 80°C. Примеры поддающихся разбуханию материалов включают волокна или частицы, образованные из полиакриламида и аналогичных материалов.

[0037] Твердые частицы могут присутствовать в жидкости, с которой они

15 используются, в количестве приблизительно от 0,1 г/л до 100 г/л. В некоторых вариантах осуществления они применяются в количествах 10 г/л или более. В некоторых применениях количество волокон превышает 10% общего веса жидкости. В некоторых вариантах осуществления чем больше используется твердых частиц или волокон, тем лучше. Поэтому количество таких материалов может ограничиваться только

20 ограничениями, накладываемыми на оборудование, которое используется для транспортировки таких материалов. При таких уровнях жидкость может считаться насыщенной твердыми частицами.

[0038] В некоторых вариантах осуществления твердые частицы используются в жидкостях, содержащих расклинивающие агенты. Ими, как правило, являются жидкости

25 для гидроразрыва пласта, в которых расклинивающий агент в трещинах удерживает расширившиеся трещины от смыкания. Расклинивающие материалы могут быть натуральными или синтетическими, иметь покрытие или содержать химические реагенты; более одного материала могут применяться последовательно или в смесях, состоящих из частиц различных размеров или образованных из разных материалов.

30 Расклинивающие агенты или гравийные набивки в одной и той же скважине могут состоять из одинакового материала и/или иметь один и тот же размер. В данном обсуждении подразумевается, что термин «расклинивающий агент» включает гравийную набивку. В целом, используемый расклинивающий агент может иметь средний размер частиц приблизительно от 0,15 мм до 2,5 мм, в частности, типичные приблизительные

35 диапазоны размеров составляют, помимо прочего, приблизительно 0,25-0,43 мм, 0,43-0,85 мм, 0,85-1,18 мм, 1,18-1,70 мм и 1,70-2,36 мм. Обычно расклинивающий агент присутствует в суспензии в концентрации приблизительно от 0,12 кг расклинивающего агента, добавленного к каждому литру жидкости-носителя, приблизительно до 3 кг расклинивающего агента, добавленного к каждому литру жидкости-носителя. В

40 некоторых вариантах применения концентрация расклинивающего агента будет составлять приблизительно от 0,12 кг расклинивающего агента, добавленного к каждому литру жидкости-носителя, приблизительно до 1,5 кг расклинивающего агента, добавленного к каждому литру жидкости-носителя.

[0039] В некоторых вариантах осуществления расклинивающий материал является

45 практически не растворимым в жидкостях пласта. Расклинивающий агент можно выбирать исходя из крепости породы, давлений закачки, типов закачиваемых жидкостей или даже схемы заканчивания скважины. Подходящие расклинивающие материалы могут включать, помимо прочего, песок, спеченный боксит, стеклянные гранулы,

керамические материалы, природные или аналогичные материалы. Могут применяться также смеси расклинивающих агентов. Материалы природного происхождения могут представлять собой неизвлеченные и/или необработанные природные материалы, а также материалы, основанные на природных материалах, которые были обработаны и/или извлечены. Подходящие примеры природных материалов для использования в качестве расклинивающих агентов включают, помимо прочего, следующие: молотая или дробленая скорлупа орехов, например, грецкого, кокосового, пекана, миндаля, плода фителефаса, бразильского и т.д.; перемолотая или измельченная шелуха семян (включая фруктовые косточки) таких плодов, как слива, маслина, персик, вишня, абрикос и т.д.; перемолотая или измельченная шелуха семян других растений, таких как кукуруза (например, початки или зерна кукурузы) и т.д.; переработанные древесные материалы, например, полученные из таких видов древесины, как дуб, гикори, грецкий орех, тополь, красное дерево и т.д., включая такие виды древесины, которые были переработаны посредством перемалывания, дробления или иного вида получения мелких частиц, переработки и т.д.; некоторыми неограничивающими примерами таких материалов являются расклинивающие агенты, поставляемые под торговой маркой LiteProp™ компанией BJ Services Co., которые изготовлены из ореховой скорлупы, пропитанной и инкапсулированной смолами. Дополнительную информацию о некоторых из упомянутых выше составов можно найти в «Энциклопедии химических технологий» под редакцией Raymond E. Kirk и Donald F. Othmer, 3-е издание, издательство John Wiley & Sons, том 16, стр. 248-273 (под заголовком «Ореховые»), защищено авторским правом с 1981 г., которая включена в настоящий документ посредством ссылки. Другие расклинивающие материалы могут включать в себя буровые отходы, выкачиваемые из ствола скважины с помощью промывочных жидкостей.

[0040] Все или некоторые из расклинивающих материалов могут быть также снабжены адгезионными свойствами. Адгезионные свойства могут обеспечиваться покрытием на основе смол. Используемые смолы могут включать, например, эпоксид, фенольные материалы (например, фенолформальдегид), полиуретановые эластомеры, аминовые смолы, полиэфирные смолы, акриловые смолы и т.д. Примеры частиц со смоляным покрытием описаны в патентах США 3929191, 4585064 и 5422183, полное содержание каждого из которых включено в настоящий документ посредством ссылки. Толщина покрытий может быть различной, однако можно применять покрытия на основе смол, которые составляют приблизительно от 1% до 99% общего веса расклинивающего агента со смоляным покрытием (РАСП), в частности, приблизительно от 1% до 50% общего веса РАСП.

[0041] Расклинивающие агенты с покрытием на основе смол могут представлять собой частицы с покрытием, у которых при первоначальном формировании суспензии расклинивающего агента применяется неотвержденная смола. Неотвержденный РАСП в общем случае первоначально может быть твердым и нелипким при поверхностных условиях, тем самым способствуя обработке и подготовке суспензии твердых частиц, поскольку частицы расклинивающего агента не стремятся слипнуться друг с другом. После введения в трещину подземного пласта смола размягчается под воздействием более высоких локальных температур. В дальнейшем смола отверждается или сшивается, становясь твердой и нерасплавляющейся и сохраняя некоторую гибкость. Типовые температуры, которые способствуют отверждению, находятся в диапазоне приблизительно от 40°C до 250°C. При более низких температурах, т.е. температурах менее чем приблизительно 60°C, могут использоваться средства отверждения для обеспечения достаточной консолидации за разумный период времени. Такие средства

отверждения известны специалистам в данной области и могут включать, например, изопропанол, метанол и поверхностно-активные вещества со спиртовыми соединениями.

[0042] Отверждение или сшивание смолы может происходить просто вследствие нагревания. Смола может быть выбрана таким образом, чтобы отверждение происходило при определенных температурах и чтобы для отверждения требовались определенные периоды времени, что позволяет предотвратить слишком быстрое отверждение смолы. Смолы с периодом отверждения приблизительно от 1 часа до 75 часов или более могут использоваться с целью обеспечения достаточного промежутка времени для позиционирования барьера из расклинивающего агента.

[0043] К числу расклинивающих агентов с покрытием из предварительно отвержденной смолы относятся те частицы расклинивающего агента со смоляным покрытием, у которых смола была по меньшей мере частично отверждена или сшита на поверхности перед введением в скважину или трещину. Такие предварительно отвержденные РАСП могут быть особенно удобны при использовании с жидкостями гидроразрыва, поскольку они более совместимы с жидкостями гидроразрыва и для их активации не требуется изменение температуры. Частицы расклинивающего агента с покрытием из предварительно отвержденной смолы могут взаимодействовать друг с другом только физически, не образуя химической связи. Вследствие этого может потребоваться более толстое смоляное покрытие по сравнению с неотвержденными РАСП. Используемые покрытия могут быть гибкими и, таким образом, легко деформируемыми под давлением. В сочетании с более толстым покрытием на поверхности расклинивающего агента это может привести к более сильному взаимодействию между частицами. К таким материалам относятся резины, эластомеры, термопластмассы и пластмассы.

[0044] Примерами подходящих имеющихся в продаже частиц с покрытием из неотвержденной смолы являются Super HS, Super LC, Super TF, Super HT, MagnaProp, DynaProp, OptiProp и PolaProp, которые можно приобрести у компании Santrol, Inc., Фресно, Калифорния, и расклинивающие агенты со смоляным покрытием Ceramax, которые можно приобрести у компании Borden Chemical, Колумбус, Огайо. К частицам со смоляным покрытием также могут относиться частицы, имеющие клейкое или аналогичное покрытие, которое обеспечивает характеристики, аналогичные описанным выше РАСП, такие как песок с покрытием, реализуемый на рынке под названием SandWedge и предлагаемый компанией Halliburton Energy Services, Inc., который может добавляться к суспензии расклинивающего раствора без предварительной подготовки.

[0045] Клеящее вещество твердых частиц и/или расклинивающих материалов может способствовать агрегации твердых частиц и (или) расклинивающих материалов. Расклинивающий агент может также обладать свойствами самоагрегации. В некоторых вариантах осуществления может добавляться клеящее вещество, которое служит для смачивания или покрытия твердых частиц или расклинивающих материалов, либо и тех и других. Расклинивающие материалы могут обладать адгезионными свойствами, способствующими агрегации нерасклинивающих твердых частиц, которые могут быть неадгезионными.

[0046] В некоторых вариантах осуществления твердые частицы, применяемые для стабилизации поверхности раздела жидкостей, могут быть введены в состав жидкостей для гидроразрыва. Жидкости или системы гидроразрыва, используемые для выполнения гидравлического разрыва пласта, как правило, представляют собой жидкости на водной основе. Жидкости на водной основе обычно подвергаются загущению с тем, чтобы они обладали достаточной вязкостью для переноса или удержания во взвешенном

состоянии расклинивающих материалов, предотвращения просачивания жидкости и т.д. Для того чтобы обеспечить повышенную вязкость жидкостей гидроразрыва на водной основе, к жидкости часто добавляют растворимые в воде или подверженные гидратации полимеры. Эти полимеры могут включать, помимо прочего, гуаровые смолы, полисахариды с высоким молекулярным весом, состоящие из маннозы или галактозы, либо производные гуара, такие как гидропропилгуар (ГПП), карбоксиметилгуар (КМГ) и карбоксиметил гидроксипропил гуар (КМГПП). Также могут использоваться производные целлюлозы, такие как гидроксиэтилцеллюлоза (ГЭЦ) или гидроксипропилцеллюлоза (ГПЦ) и карбоксиметилгидроксиэтилцеллюлоза (КМГЭЦ). Любой полезный полимер может использоваться либо в сшитом виде, либо без сшивателя, в линейном виде. Было показано, что три биополимера, ксантан, диутан и склероглюкан, могут служить в качестве загустителей. Синтетические полимеры, такие как, помимо прочего, полиакриламидные и полиакрилатные полимеры и сополимеры, используются, как правило, для высокотемпературных применений.

[0047] В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения в качестве загустителя жидкостей на водной основе используется вязкоупругое поверхностно-активное вещество (ВПАВ). ВПАВ может быть выбрано из группы, состоящей из катионных, анионных, цвиттер-ионных, амфотерных, неионных материалов и их сочетаний. Некоторые неограничивающие примеры таких материалов приведены в патентах США 6435277 и 6703352, каждый из которых включен в настоящий документ посредством ссылки. Вязкоупругие поверхностно-активные вещества, используемые по отдельности или в сочетании, способны к образованию мицелл, которые в водной среде создают структуру, способствующую повышению вязкости жидкости (называемых также «загущающими мицеллами»). Эти жидкости обычно получают путем смешивания в соответствующих количествах ВПАВ, подходящих для достижения нужной вязкости. Вязкость жидкостей ВПАВ можно объяснить трехмерной структурой, образуемой компонентами жидкостей. Когда концентрация поверхностно-активных веществ в вязкоупругой жидкости значительно превышает критическую, в большинстве случаев в присутствии электролита, молекулы ПАВ скапливаются, создавая такие вещества, как мицеллы, которые способны к взаимодействию с образованием сети, обладающей вязкостью и упругостью.

[0048] Жидкости могут также содержать компонент газа. Компонент газа может быть получен из любого подходящего газа, который при вводе в водную среду образует активированную жидкость или пену. См., например, патент США 3937283 (Blauer и др.), включенный в настоящий документ посредством ссылки. Компонент газа может содержать газ, выбранный из группы, включающей азот, воздух, аргон, углекислый газ и любые смеси этих веществ. Особенно полезны компоненты газа из азота или углекислого газа любого качества, имеющегося в наличии. Жидкость может содержать приблизительно от 10% до 90% (об.) компонента газа от совокупного объема жидкости, в частности, приблизительно от 20% до 80% (об.) компонента газа от совокупного объема жидкости, и, более предпочтительно, приблизительно от 30% до 70% (об.) компонента газа от совокупного объема жидкости.

[0049] Настоящее изобретение имеет особое применение для неоднородного размещения расклинивающего агента при операциях гидравлического разрыва пласта, при которых кластеры из расклинивающего агента размещаются в трещине. Примеры таких операций гидроразрыва для неоднородного размещения расклинивающего агента описаны в патенте США 7581590 и в международной публикации WO2007/086771A1, полное содержание каждого из которых включено в настоящий документ во всех

отношениях посредством ссылки. В целом, такое неоднородное размещение расклинивающего агента включает в себя использование нескольких чередующихся стадий, содержащих и не содержащих расклинивающий агент, которые последовательно закачиваются в пласт, с тем чтобы способствовать получению находящихся на расстоянии друг от друга кластеров расклинивающего агента в трещинах пласта.

[0050] При неоднородном размещении расклинивающего агента или других операциях гидроразрыва, во время которых жидкость, не содержащая расклинивающий агент, непосредственно следует за жидкостью, содержащей расклинивающий агент, или предшествует ей, твердые частицы, используемые для стабилизации поверхности раздела жидкостей, могут содержаться в одной или обеих таких соседних контактирующих жидкостях. Твердые частицы могут непрерывно подмешиваться к жидкостям гидроразрыва, в то время как расклинивающий агент может добавляться пульсациями. В качестве альтернативного варианта нерасклинивающие твердые частицы могут добавляться пульсациями, при этом расклинивающий агент добавляется к жидкости непрерывно. В некоторых вариантах осуществления не содержащие расклинивающий агент жидкости или импульсы могут обладать более высоким содержанием твердых частиц. В других вариантах осуществления содержащие расклинивающий агент жидкости или импульсы могут обладать более высоким содержанием твердых частиц. В других вариантах осуществления количество твердых частиц может в общем случае быть одинаковым в содержащих и не содержащих расклинивающий агент жидкостях и непрерывно диспергировать в этих жидкостях.

[0051] Кроме того, волокна и другие нерасклинивающие твердые частицы могут быть одинаковыми или различными в разных контактирующих фазах жидкости. Это могут быть различные твердые частицы. Сюда могут относиться различия в материале, форме, адгезионных свойствах, размере или других характеристиках. В некоторых вариантах применения в жидкостях, не содержащих расклинивающий агент, используются только разлагаемые твердые частицы, описанные выше, так чтобы они могли быть удалены и иным образом не загрязняли пласт после обработки. Разлагаемые твердые частицы могут также использоваться в жидкости, содержащей расклинивающий агент. Однако неразлагаемые волокна или твердые частицы также могут использоваться с жидкостями, которые содержат расклинивающий агент. Твердые частицы в жидкостях, содержащих расклинивающий агент, также позволяют предотвращать осаждение расклинивающего агента. В некоторых вариантах осуществления вязкость базовых жидкостей, используемых в качестве контактирующих жидкостей, может в общем случае быть одинаковой или сходной. Как уже было сказано, вязкости базовых жидкостей представляют собой вязкости жидкостей перед добавлением расклинивающего агента или твердых частиц. Жидкости обычно подвергаются загущению под действием загустителей, как описано выше. В некоторых вариантах применения базовые жидкости могут быть одними и теми же в каждой фазе, при этом основные различия могут заключаться только в количестве или типе применяемых твердых частиц или расклинивающего агента, либо в присутствии или отсутствии твердых частиц или расклинивающего агента. Две жидкости, имеющие практически одинаковую вязкость, демонстрируют минимальную склонность к вязкостному языкообразованию. Как уже было сказано выше, в некоторых вариантах осуществления жидкости могут обладать вязкостью менее 1000 сП при  $100 \text{ c}^{-1}$ .

[0052] В дополнение к гидравлическим разрывам пласта, настоящее изобретение имеет особое применение для вытеснения промывочных жидкостей. Способы вытеснения буровых жидкостей описаны в патенте США 4453598, который включен в настоящий

документ посредством ссылки. В таких вариантах применения промывочная жидкость вытесняется другой жидкостью. Твердые частицы способствуют стабилизации поверхности раздела между промывочной жидкостью и жидкостью, закачанной позже. Закачанная позже жидкость может включать нецементную буферную жидкость или вытесняющую жидкость, специально используемую для вытеснения промывочной жидкости, либо представлять собой цемент, используемый для цементирования ствола скважины. Как правило, это жидкости на водной основе, которые могут содержать соль или добавку-утяжелитель, загуститель и т.д., чтобы содействовать вытеснению промывочных жидкостей. Описанные выше твердые частицы могут добавляться к буферной или вытесняющей жидкости для стабилизации поверхности раздела между промывочной жидкостью и закачиваемой после нее жидкостью. В качестве альтернативного варианта, промывочная жидкость может вытесняться цементирующим составом, используемым при цементировании обсадной колонны в стволе скважины. Цементирующие составы содержат цементный раствор или цементирующие материалы, воду и другие добавки. Описанные выше твердые частицы подмешиваются к цементному составу, чтобы способствовать стабилизации поверхности раздела жидкостей. Цементный состав, содержащий твердые частицы, может включаться как в цемент, так и в любую буферную жидкость, применяемую перед цементом.

[0053] Вслед за буферной жидкостью может закачиваться промывочный раствор, или наоборот. Последовательность «буферная жидкость-промывочный раствор» или «промывочный раствор-буферная жидкость» может повторяться несколько раз. Буферные жидкости обладают тщательно рассчитанной плотностью и реологией для обеспечения надлежащего размещения цемента при одновременном поддержании во взвешенном состоянии добавки-утяжелителя, используемой для управления их плотностью. В огромном большинстве случаев буферные жидкости используются в ламинарном потоке. Их состав можно оптимизировать с целью уменьшения вязкости без ухудшения стабильности, что обеспечивает размещение в турбулентном потоке в затрубных пространствах небольшого размера, при условии относительно большого зазора между обсадной трубой и стенкой скважины.

[0054] Промывочные растворы представляют собой жидкости для предварительной промывки скважины перед цементированием с вязкостью, очень близкой к вязкости воды или нефти. Их плотность обычно также близка к плотности воды или нефти, хотя промывочные растворы на водной основе можно уплотнить с помощью водорастворимых солей. Их общий признак состоит в том, что их легко можно закачивать в турбулентный поток при относительно высоких числах Рейнольдса. Выбор промывочных растворов оценивают с учетом аспектов совместимости и эффективности процесса вытеснения. Для буровых растворов на водной основе простейший и наименее дорогостоящий промывочный раствор состоит из пресной воды. Для повышения эффективности разжижения и диспергирования бурового раствора обычно добавляют диспергенты и поверхностно-активные вещества. Для промывочных жидкостей не на водной основе промывочный состав представляет собой либо смесь воды, общего растворителя и поверхностно-активных веществ, либо нефть, после которой закачивают промывочный состав на водной основе, как описано в документе SPE/IADC 105903, который включен в настоящий документ посредством ссылки.

[0055] Следующие примеры служат в качестве дополнительной иллюстрации изобретения.

Примеры

Пример 1



[0056] Жидкостные стадии, содержащие расклинивающий агент, испытывались с целью исследовать влияние волоконных частиц на диспергирование стадий. Были образованы две жидкости на водной основе, загущенные сшитым гуаром в концентрации 20 фунтов/1000 галлонов (2,4 кг/1000 л), которые были использованы для испытаний.

5 В каждой жидкости была образована содержащая расклинивающий агент стадия с концентрацией расклинивающего агента 8 фунтов добавленных к галлону (0,95 кг/л). В качестве расклинивающего агента использовался песок, соответствующий ситы № 20/40 (0,84 мм/0,42 мм). Разлагаемые полимерные волокна полиэтилентерефталата (ПЭТ), имеющие среднюю длину приблизительно 6 мм, использовались в одной

10 жидкости при концентрации волокон приблизительно 3,6 г/л. Другая жидкость не содержала волокон. Обе жидкости закачивались в 33-метровый жидкостный контур с трубой, имеющей внутренний диаметр 2 см, при ламинарном потоке с объемной скоростью 8 л/мин. Скорость подбиралась для моделирования потока жидкости в трещине. Для определения плотности жидкости во время эксперимента применялась

15 рентгеновская система MIRA 2D с максимальным напряжением на аноде 150 кВ и демпфирующей емкостью 40 пФ. Система регистрации рентгеновского излучения имела конфигурацию, представленную на фиг.1. Как показано на фиг.1, применялись источник рентгеновского излучения (1) и датчики (2) (эталонный датчик I и измерительный датчик II). Датчики I и II размещались на одинаковом расстоянии относительно фокуса

20 рентгеновского аппарата. Между рентгеновской трубкой и датчиком II была расположена труба с потоком жидкости (3). Труба располагалась таким образом, чтобы дважды проходить через датчик II: один раз - непосредственно позади насоса, и второй раз - перед сливом в рециркуляционный бак. Таким образом, стадия расклинивающего агента дважды проходила по траектории, регистрируемой датчиками.

25 [0057] На фиг.2 показан график изменения концентраций расклинивающего агента в стадии в зависимости от расстояния для двух циркулирующих жидкостей, при этом одна жидкость (20) содержит волоконные частицы, а другая жидкость (18) не содержит таких волоконных частиц. В секции А показаны стадии в начале текущего по трубе потока, в секции В - стадии после прохождения потоком расстояния 33 м. Как показано

30 на фиг.2, жидкость (20), содержащая волокна, имела резкие границы стадии с расклинивающим агентом, четко отличающие ее от оставшегося интервала гелевой стадии, не содержащей примесей. Напротив, стадия расклинивающего агента жидкости (18), не содержащей волокон, не оставалась консолидированной, что демонстрируется диспергированием расклинивающего агента в циркулирующей жидкости,

35 показывающим, что поверхность раздела между стадией расклинивающего агента и не содержащей примесей стадией не оставалась ненарушенной. У жидкости (18), не содержащей волокон, отсутствовали различимые границы жидкости.

#### Пример 2

[0058] Измерения вязкости методом шарика проводились с использованием жидкостей

40 на водной основе, содержащих 30 фунтов/1000 галлонов (3,6 кг/1000 л) сшитого гуара с различными количествами полимерных волокон полиэтилентерефталата, как описано в Примере 1. Количество используемых волокон составляло 0 фунтов/1000 галлонов (0 кг/1000 л), 10 фунтов/1000 галлонов (1,2 кг/1000 л) и 40 фунтов/1000 галлонов (4,8 кг/1000 л). После этого значения вязкости измерялись методом шарика при различных

45 скоростях сдвига. Результаты представлены на фиг.3.

#### Пример 3

[0059] Две различные сшитые жидкости на основе гуара, содержащие 30 фунтов/1000 галлонов (3,6 кг/1000 л) и 40 фунтов/1000 галлонов (4,8 кг/1000 л) гуара и различные

концентрации волокон ПЭТ, которые использовались в Примере 1, испытывались в реометре для определения предела текучести при 50°C. Количество использовавшихся волокон составляло 0 фунтов/1000 галлонов (0 кг/1000 л), 10 фунтов/1000 галлонов (1,2 кг/1000 л) и 40 фунтов/1000 галлонов (4,8 кг/1000 л). К жидкости прикладывался момент для определения предельного значения текучести каждой жидкости. Результаты представлены на фиг.4.

[0060] Хотя изобретение было представлено только в нескольких вариантах, специалистам в данной области должно быть понятно, что оно не ограничивается только ими, но подлежит различным изменениям и модификациям без отступления от объема изобретения. Соответственно, прилагаемая формула изобретения должна толковаться широко и в соответствии с объемом настоящего изобретения.

#### Формула изобретения

1. Способ поддержания консолидации жидкостных стадий в жидкостной системе, используемой для закачивания в скважину, причем жидкостная система содержит контактирующую жидкость иного характера, прилегающую к жидкостной стадии, который включает следующие этапы:

подмешивание твердых частиц по меньшей мере к жидкостной стадии или к соседней контактирующей жидкости в количестве, при котором между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные границы контактирующей жидкости; и

закачивание жидкостной системы в ствол скважины, образованной в подземном пласте.

2. Способ по п. 1, в котором:

твердые частицы подмешиваются как к жидкостной стадии, так и к соседней контактирующей жидкости.

3. Способ по п. 1, в котором:

твердые частицы подмешиваются либо только к жидкостной стадии, либо к соседней контактирующей жидкости.

4. Способ по п. 1, в котором:

жидкостная стадия содержит расклинивающий материал, а соседняя контактирующая жидкость по существу не содержит расклинивающий агент.

5. Способ по п. 1, в котором:

как жидкостная стадия, так и соседняя контактирующая жидкость не содержат расклинивающий агент.

6. Способ по п. 1, в котором:

жидкостная система состоит из загущенных жидкостей.

7. Способ по п. 1, в котором:

соседняя контактирующая жидкость представляет собой буровой раствор, при этом жидкостная стадия представляет собой цемент или жидкость для вытеснения бурового раствора.

8. Способ по п. 1, в котором:

твердые частицы могут добавляться по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости в концентрации приблизительно от 0,1 г/л до 100 г/л.

9. Способ по п. 1, в котором:

твердые частицы могут добавляться по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости в концентрации приблизительно 10 г/л или более.

10. Способ по п. 1, в котором:  
твердые частицы состоят из волокон.
11. Способ по п. 1, в котором:  
твердые частицы представляют собой разлагаемый материал.
- 5 12. Способ по п. 1, в котором:  
твердые частицы представляют собой неразлагаемый материал.
13. Способ по п. 1, в котором:  
твердые частицы состоят из адгезионного материала.
14. Способ по п. 13, в котором:  
10 адгезионные свойства адгезионных веществ изменяются после закачивания жидкостной системы в ствол скважины.
15. Способ по п. 1, в котором:  
твердые частицы состоят по меньшей мере из двухмерных или трехмерных частиц.
16. Способ по п. 1, в котором:  
15 физические свойства твердых частиц изменяются по меньшей мере вследствие 1) взаимодействия твердых частиц по меньшей мере с жидкостной стадией или соседней контактирующей жидкостью, к которым подмешиваются твердые частицы, или 2) скважинных условий.
17. Способ по п. 16, в котором:  
20 физические свойства твердых частиц, способные изменяться, включают по меньшей мере гибкость, форму, клейкость, разлагаемость и прочность.
18. Способ по п. 4, в котором:  
твердые частицы добавляются к жидкостной стадии, содержащей расклинивающий материал, при этом по меньшей мере часть расклинивающего материала обладает  
25 адгезионными свойствами, способствующими агрегации расклинивающего материала и твердых частиц.
19. Способ по п. 1, в котором:  
жидкостная система состоит из двух или более порций жидкостных стадий и соседних контактирующих жидкостей и в котором твердые частицы добавляются по меньшей  
30 мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости каждой фазы в количестве, при котором в условиях ламинарного режима движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные границы контактирующей жидкости.
20. Способ по п. 1, в котором:  
35 вязкость базовых жидкостей, образующих жидкостную стадию, и соседней контактирующей жидкости является по существу одинаковой.
21. Способ поддержания консолидации жидкостных стадий в жидкостной системе, используемой для закачивания в скважину, причем жидкостная система содержит контактирующую жидкость иного характера, прилегающую к жидкостной стадии, и  
40 этот способ включает следующие этапы:  
подмешивание твердых частиц по меньшей мере к жидкостной стадии или к соседней контактирующей жидкости в количестве, при котором в условиях ламинарного режима движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные границы контактирующей жидкости; и  
45 при этом по меньшей мере часть твердых частиц обладает адгезионными свойствами, способствующими агрегации твердых частиц внутри по меньшей мере жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости; и  
закачивание жидкостной системы в ствол скважины, образованной в подземном

пласте.

22. Способ по п. 21, в котором:

адгезионные свойства обеспечиваются при подмешивании твердых частиц по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости.

5 23. Способ по п. 21, в котором:

по меньшей мере часть твердых частиц приобретает адгезионные свойства за счет введения материала, обеспечивающего адгезионность, по меньшей мере в жидкостную стадию или соседнюю контактирующую жидкость жидкостной системы.

24. Способ по п. 21, в котором:

10 по меньшей мере часть твердых частиц состоит из волокон.

25. Способ по п. 21, в котором:

адгезионные свойства обеспечиваются по меньшей мере за счет 1) взаимодействия по меньшей мере части твердых частиц с жидкостью, к которой подмешиваются твердые частицы, или 2) скважинных условий.

15 26. Способ по п. 21, в котором:

твердые частицы подмешиваются как к жидкостной стадии, так и к соседней контактирующей жидкости.

27. Способ по п. 21, в котором:

20 твердые частицы подмешиваются либо только к жидкостной стадии, либо к соседней контактирующей жидкости.

28. Способ по п. 21, в котором:

жидкостная стадия содержит расклинивающий материал, а соседняя контактирующая жидкость по существу не содержит расклинивающий агент.

29. Способ по п. 21, в котором:

25 как жидкостная стадия, так и соседняя контактирующая жидкость не содержат расклинивающий агент.

30. Способ по п. 21, в котором:

жидкостная система состоит из загущенных жидкостей.

31. Способ по п. 21, в котором:

30 соседняя контактирующая жидкость представляет собой буровой раствор, при этом жидкостная стадия представляет собой цемент или жидкость для вытеснения бурового раствора.

32. Способ по п. 21, в котором:

35 твердые частицы могут добавляться по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости в концентрации приблизительно от 0,1 г/л до 100 г/л.

33. Способ по п. 21, в котором:

твердые частицы состоят из волокон.

34. Способ по п. 21, в котором:

40 твердые частицы представляют собой разлагаемый материал.

35. Способ по п. 21, в котором:

твердые частицы представляют собой неразлагаемый материал.

36. Способ по п. 21, в котором:

45 адгезионные свойства изменяются после закачивания жидкостной системы в ствол скважины.

37. Способ по п. 21, в котором:

твердые частицы состоят по меньшей мере из двухмерных или трехмерных частиц.

38. Способ по п. 21, в котором:

физические свойства твердых частиц изменяются по меньшей мере вследствие 1) взаимодействия твердых частиц по меньшей мере с жидкостной стадией или соседней контактирующей жидкостью, к которым подмешиваются твердые частицы, или 2) скважинных условий.

5 39. Способ по п. 38, в котором:

физические свойства твердых частиц, способные изменяться, включают по меньшей мере гибкость, форму, клейкость, разлагаемость и прочность.

40. Способ по п. 28, в котором:

10 твердые частицы добавляются к жидкостной стадии, содержащей расклинивающий материал, при этом по меньшей мере часть расклинивающего материала обладает адгезионными свойствами, способствующими агрегации расклинивающего материала и твердых частиц.

41. Способ по п. 21, в котором:

15 жидкостная система состоит из двух или более фаз жидкостных стадий и соседних контактирующих жидкостей и в котором твердые частицы добавляются по меньшей мере к жидкостной стадии или соседней контактирующей жидкости каждой фазы в количестве, при котором в условиях ламинарного режима движения потока между стадией и соседней контактирующей жидкостью образуются дискретные границы контактирующей жидкости.

20 42. Способ по п. 21, в котором:

вязкость базовых жидкостей, образующих жидкостную стадию, и соседней контактирующей жидкости является по существу одинаковой.

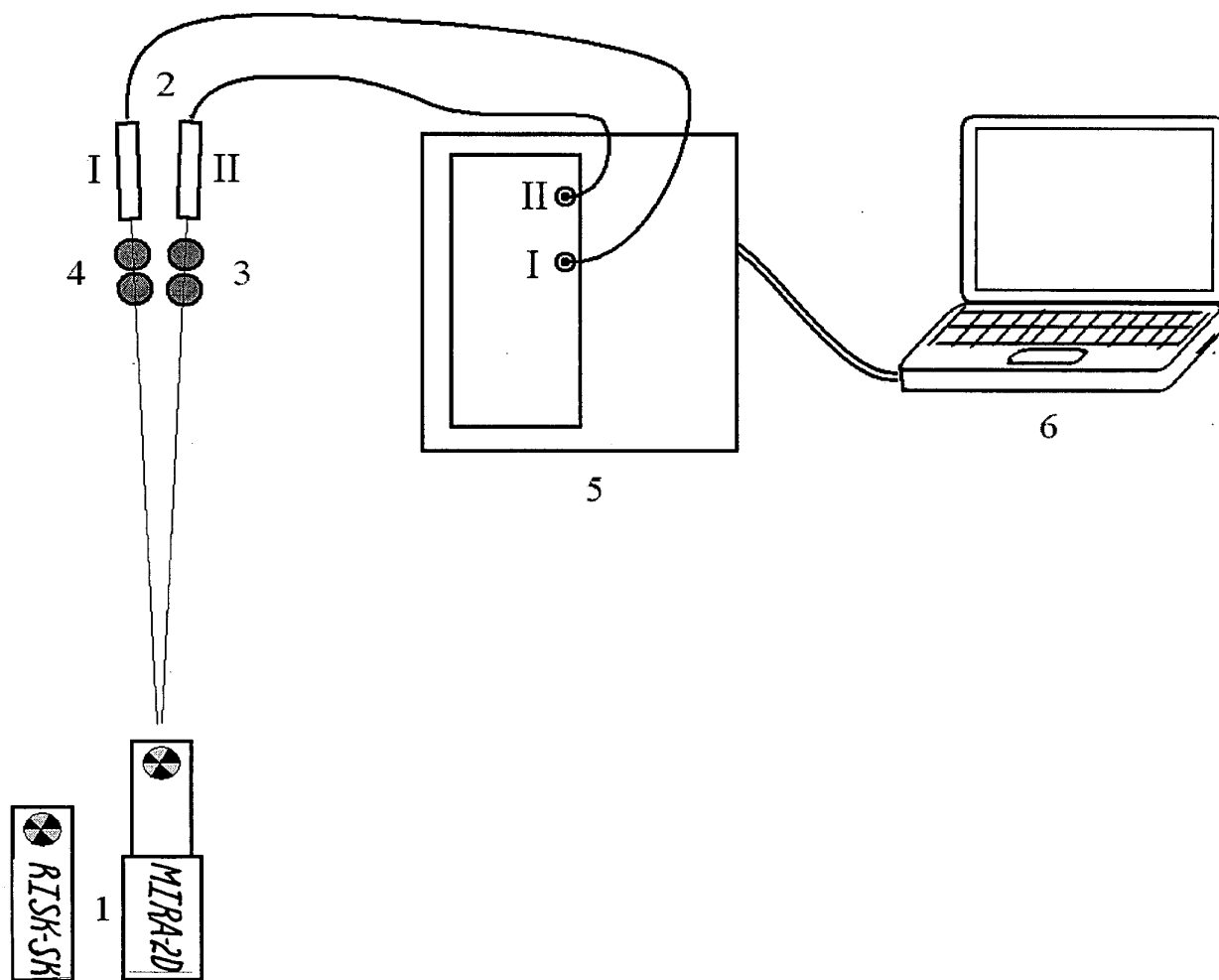
25

30

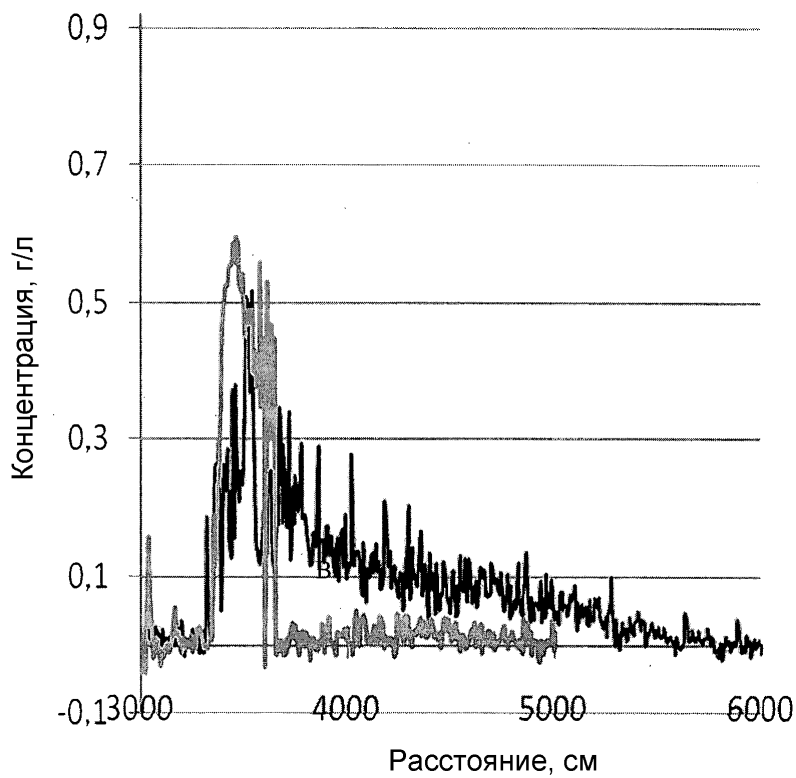
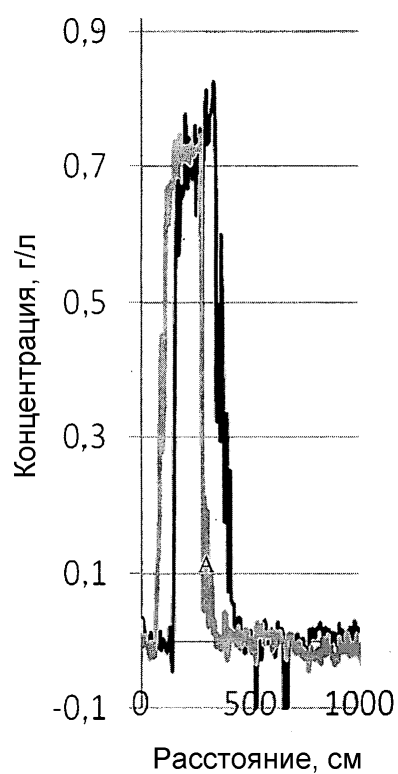
35

40

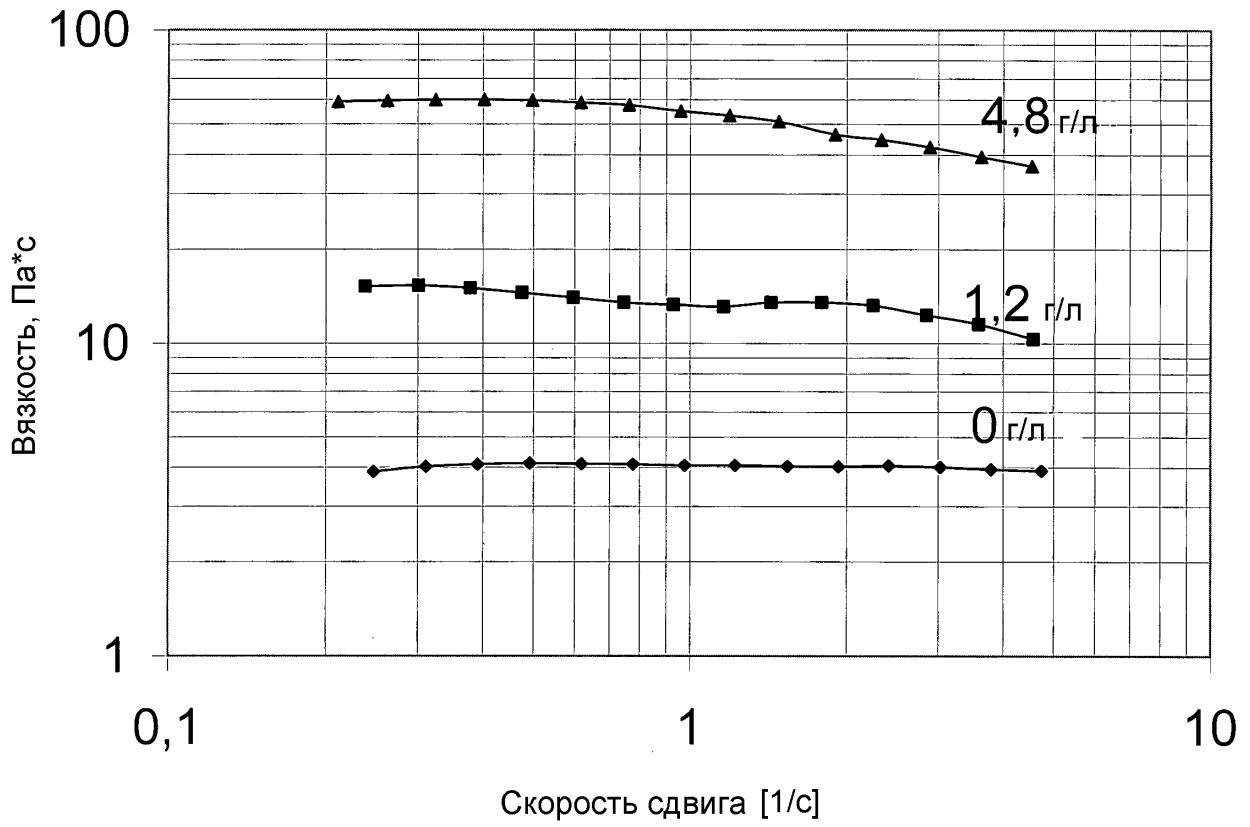
45



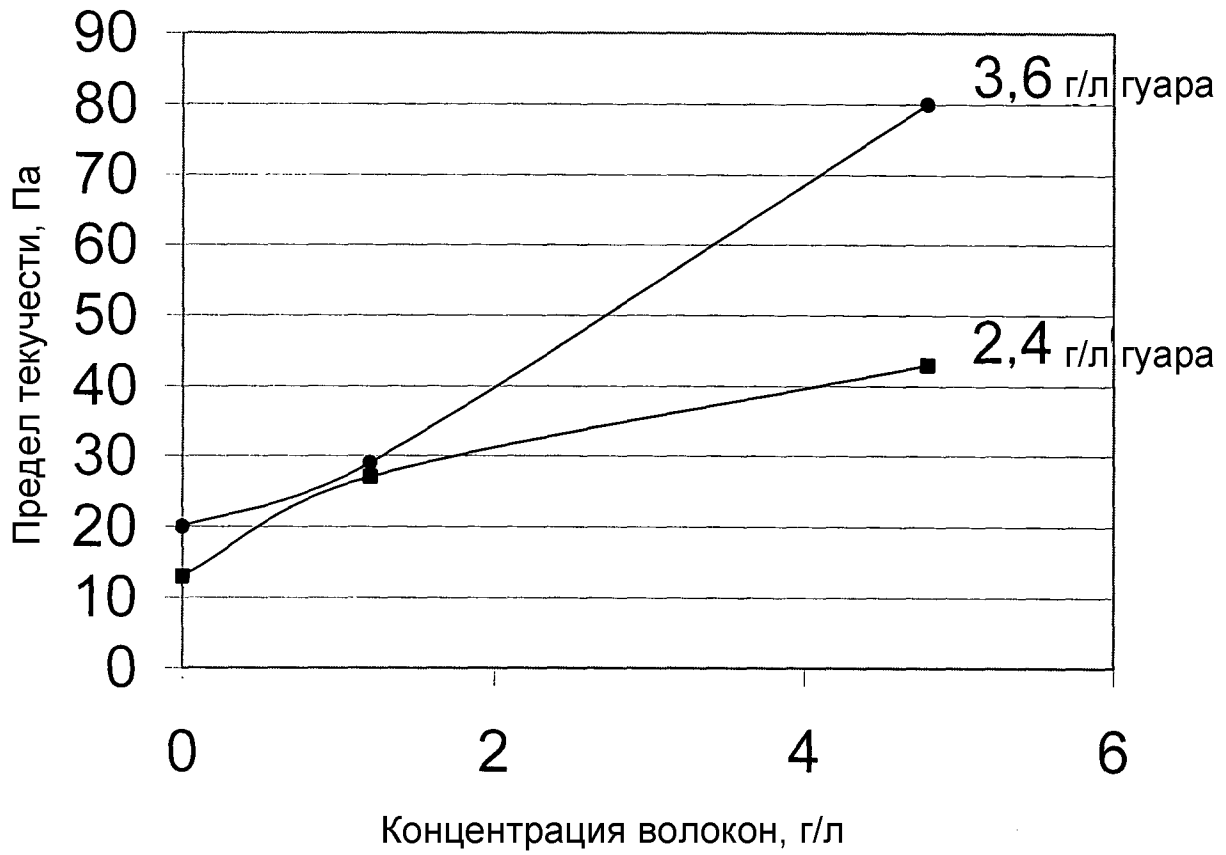
ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4