



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

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

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: **2008130450/03**, **27.01.2006**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**27.01.2006**

(43) Дата публикации заявки: **27.01.2010**

(45) Опубликовано: **20.11.2010** Бюл. № **32**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6776235 B1**, **17.08.2004**. **RU 2180397 C1**, **10.03.2002**. **US 5908073 A**, **01.06.1999**. **US 6209643 B1**, **03.03.2001**. **US 4143715 A**, **13.03.1979**. **EP 0562879 A2**, **29.09.1993**. **US 5330005 A**, **19.07.1994**. **US 6079492 A**, **27.06.2000**.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: **24.07.2008**

(86) Заявка РСТ:  
**RU 2006/000026** (**27.01.2006**)

(87) Публикация РСТ:  
**WO 2007/086771** (**02.08.2007**)

Адрес для переписки:  
**101000, Москва, пер. Огородная Слобода, д. 5А, ООО "Технологическая компания Шлюмберже", Е.Г.Якушевой**

(72) Автор(ы):

**Дин Уилберг (CA),  
Мэтью Миллер (US),  
Косарев Иван (RU),  
Марк Тирселин (FR)**

(73) Патентообладатель(и):

**Шлюмберже Текнолоджи Б.В. (NL)**

**(54) СПОСОБ ГИДРОРАЗРЫВА ПОДЗЕМНОГО ПЛАСТА (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области гидравлического разрыва пласта. Технический результат - образование трещины с высокой проводимостью для пластового флюида за счет образования прочных проппантовых кластеров, препятствующих смыканию трещины, и каналов, обеспечивающих свободный проток пластовых флюидов. Способы гидравлического разрыва подземного пласта включают первую стадию, в процессе которой осуществляют закачивание в ствол

скважины жидкости гидроразрыва, содержащей загуститель с образованием трещины в пласте, вторую стадию, в процессе которой вводят проппант в закачиваемую жидкость гидроразрыва для предотвращения закрытия трещины, дополнительно в жидкость гидроразрыва вводят агенты для образования кластеров проппанта, или увеличения прочности кластеров проппанта, или повышения транспортирующей способности жидкости гидроразрыва. 3 н. и 64 з.п. ф-лы, 4 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

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

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2008130450/03, 27.01.2006**

(24) Effective date for property rights:  
**27.01.2006**

(43) Application published: **27.01.2010**

(45) Date of publication: **20.11.2010 Bull. 32**

(85) Commencement of national phase: **24.07.2008**

(86) PCT application:  
**RU 2006/000026 (27.01.2006)**

(87) PCT publication:  
**WO 2007/086771 (02.08.2007)**

Mail address:  
**101000, Moskva, per. Ogorodnaja Sloboda, d. 5A,  
OOO "Tekhnologicheskaja kompanija  
Shljumberzhe", E.G.Jakushevoj**

(72) Inventor(s):

**Din Uilberg (CA),  
Meht'ju Miller (US),  
Kosarev Ivan (RU),  
Mark Tirselin (FR)**

(73) Proprietor(s):

**Shljumberzhe Teknologzhi B.V. (NL)**

**(54) METHOD FOR HYDRAULIC FRACTURING OF SUBSURFACE (VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: mining.

SUBSTANCE: methods for hydraulic fracturing of subsurface include the first stage, in process of which hydraulic fracturing fluid, which contains thickener, is pumped into well bore to make a crack in subsurface, the second stage, in process of which proppant is added into pumped hydraulic fracturing fluid to prevent crack closure, additionally agents are added into hydraulic fracturing fluid to form

proppant clusters or to increase strength of proppant clusters, or to improve transporting capacity of hydraulic fracturing fluid.

EFFECT: formation of crack with high conductivity for reservoir fluid as a result of making strong proppant clusters that prevent crack closure, and channels providing for free flow of reservoir fluids.

67 cl, 4 dwg

RU 2 4 0 4 3 5 9 C 2

RU 2 4 0 4 3 5 9 C 2

Данное изобретение относится к области гидравлического разрыва пласта, более конкретно к способам оптимизации проводимости трещины.

Углеводороды (нефть, природный газ и пр.) добывают из геологического продуктивного пласта путем бурения скважины, которая проходит через нефтегазоносный пласт. Скважина создает возможность для выхода углеводородов на поверхность. Для добычи углеводородов, то есть для процесса перетока пластового флюида из пласта в ствол скважины и затем на поверхность, должен существовать сравнительно свободный путь проникновения потока.

Гидроразрыв пласта (ГРП) является главным инструментом повышения производительности через создание новых или расширение существующих высокопроводящих трещин из коллектора в ствол скважины. При реализации технологии гидроразрыва пласта при осуществлении первой стадии жидкость гидроразрыва закачивают из скважины в подземный пласт с высокой скоростью подачи и под большим давлением. Скорость закачки жидкости гидроразрыва в пласт должна превышать скорость ее фильтрации в породу, что создает повышение гидравлического давления на стенках скважины в пласте. Если давление превышает некую критическую величину, происходит разрушение и растрескивание пласта и породы. Образовавшиеся трещины имеют большую проницаемость, чем природная пористость пласта.

При реализации следующего этапа в трещину закачивают проппант (расклинивающий агент), который удерживает трещину от смыкания после окончания закачки жидкости. Образующаяся расклиненная трещина обладает высокой проводимостью, что улучшает поток добываемого флюида, т.е. нефти, газа или воды. В качестве проппанта могут быть использованы различные материалы: песок, гравий, стеклянные шарики, размолотая скорлупа орехов, керамические частицы, спеченный боксит и другие материалы.

Жидкости гидроразрыва обычно представляют собой водные растворы, которые содержат загуститель, в качестве которого могут быть использованы (но не исключительно) растворимые полисахариды, обеспечивающий создание достаточной вязкости жидкости для транспортировки проппанта в трещину. Типичными загустителями являются и полимеры, такие как гуар (фитогенный полисахарид) и его производные (гидропропил гуара, гидроксиметилгидропропил гуара). В качестве загустителей жидкости могут использоваться другие полимеры. Вода с гуаром представляет собой линейный гель с вязкостью, пропорциональной концентрации полимера. Для сцепления между полимерными звеньями дополнительно используют сшивающие агенты, что создает довольно прочную связь, и это увеличивает вязкость полимера или создает вязкостно-эластичный эффект. Распространенными сшивающими агентами для гуара являются вещества, содержащие бор, титан, цирконий и алюминий.

На поздних стадиях гидроразрыва часто используют агенты для удержания проппанта, ограничивающие обратный вынос проппанта, уже закаченного в пласт. Например, проппант покрывают отверждаемой смолой, которую активируют в условиях скважины. Для удержания проппанта в трещине также используют различные материалы, такие как пучки волокон, волоконные и деформируемые материалы. Предполагается, что волокна образуют трехмерную сетку в упаковке проппанта, что помогает удержать частицы и ограничить вынос проппанта из трещины в скважину.

Успех операции ГРП зависит от проводимости образованных трещин и от длины

трещин. Проводимость трещины есть произведение проницаемости на ширину трещины; обычно проводимость измеряется в единицах миллидарсиметр.

Проводимость трещины зависит от несколько известных параметров. Распределение частиц по размеру является основным параметром, который влияет на проводимость трещины. Вторым существенным параметром является концентрация проппанта между стенками трещины (выражается в килограммах проппанта на квадратный метр поверхности), при этом на ширину трещины влияет концентрация проппанта. Можно считать, что средствами для улучшения проводимости трещины являются прочные проппанты, жидкости с хорошими характеристиками по переносу проппанта (в частности, способность свести к минимуму гравитационный компонент осаждения внутри скважины), высокие концентрации проппанта и проппанты с большими размерами. Непрочные материалы, низкая способность переносить проппант и узкие трещины в конце обработки, напротив, снижают последующий дебит скважины. Относительно недорогие материалы с низкой прочностью, например песок, используют в случаях ГРП пласта с небольшим уровнем внутренних нагрузок. Более дорогие материалы, такие как керамика, бокситы и другие материалы, используют в пласте с высокими нагрузками. Химические реакции между добываемыми флюидами и проппантом могут существенно повлиять на характеристики проппанта. Таким образом, следует принимать во внимание долгосрочную сопротивляемость проппанта разрушению, поскольку нефтегазовые скважины обычно работают в течение нескольких лет.

Проппантная упаковка позволяет создать слой с высокой гидравлической проводимостью - выше, чем у окружающей породы. Проппантную упаковку внутри трещины можно смоделировать в виде проницаемой пористой структуры, поток пластовой жидкости через которую в целом соответствует широко известным закону Дарси (1) или уравнению Форсхаймера (2):

$$1) \partial P / \partial x = -(\mu u / k);$$

$$2) \partial P / \partial x = -[(\mu u / k) + \beta \rho u^2],$$

где P - давление флюида в трещине;

x - расстояние в трещине до ствола скважины;

$\mu$  - вязкость пластовой жидкости;

u - скорость потока (фильтрационная) пластовой жидкости;

k - проницаемость проппантной упаковки;

$\beta$  - коэффициент, называемый бета-фактор, который описывает нелинейные поправки к фильтрационному закону Дарси;

$\rho$  - плотность пластовой жидкости (флюида).

Произведение проницаемости трещины на ширину трещины известно как "гидравлическая проводимость". Самым важным аспектом проектирования трещины является оптимизация гидравлической проводимости для конкретных условий пласта. Теория и методология проектирования трещин ГРП приведена в различных научных статьях и монографиях. Издание Reservoir Stimulation. 3<sup>rd</sup> ed. Economides, Michael J. and Nolte, Kenneth G., John Wiley and Sons (1999), является хорошим примером справочной книги, которая дает читателю удобную методологию разработки параметров трещины ГРП.

Оптимизация ГПР позволяет учесть такие характеристики процесса, как прочность проппанта, проводимость трещины ГРП, распределение проппанта, стоимость материала и стоимость всей операции ГРП для конкретного обрабатываемого коллектора. Случай с проппантом большого диаметра иллюстрирует такой

компромисс, который является результатом оптимизации ГРП. Для высокой гидравлической проводимости трещины лучше иметь проппант с большим диаметром. Однако проппант с большим диаметром при данном внутреннем напряжении в пласте более подвержен разрушению при высоких напряжениях смякания трещины, а это вызывает снижение эффективной гидравлической проводимости проппантной упаковки. Более того, в случае крупных частиц проппанта раньше проявляется тенденция к забивке такими крупными частицами проходного канала и захвата новых частиц на начальном участке трещины, слишком близко к месту инъекции проппантной взвеси.

Выбор конкретного вида проппанта основывают на способности противостоять разрушению при нагрузках и давать достаточную проводимость трещины после ее смякания; а также это связано с возможностью доставить частицы проппанта в глубь трещины ГРП (причем недорого). После воды проппанты являются вторым по объему и массе компонентом, который применяют в технике гидроразрыва пласта. Керамические проппанты имеют самый лучший бета-фактор и прочность выше, чем у песка. Однако стоимость проппанта из керамики во много раз выше стоимости песка. Таким образом, улучшение проводимости трещины требует существенных затрат при операции ГРП; стоимость проппанта обычно составляет от 20 до 60 процентов общей стоимости операции ГРП.

Кроме указанных моментов, существуют другие характеристики проппанта, которые усложняют картину добычи углеводородов. К примеру, может случиться, что пластовый флюид не может вытеснить закаченную жидкость гидроразрыва. (Вязкая жидкость остается в проппантной упаковке, и это снижает проводимость трещины.) Полевые исследования показали, что возврат жидкости гидроразрыва для случая ГРП газовых скважин в среднем составляет от 20 до 50 процентов закаченного объема при ГРП и может быть еще ниже. Возможно, что пластовый флюид протекает вдоль нескольких каналов в виде "языков", образованных внутри проппантной упаковки, или поток идет только через часть проппантной упаковки, что была очищена от жидкости гидроразрыва на этапе очистки трещины. Та часть трещины, что удерживает остатки вязкого геля, ограничивает поток флюидов, и это уменьшает эффективную гидравлическую проводимость трещины. Понижение вязкости жидкости гидроразрыва после завершения ГРП является эффективным способом удаления этой жидкости из проппантной упаковки. Для уменьшения вязкости геля добавляют вещества, известные как "разрушители геля". Разрушители геля действуют по нескольким механизмам, но обычно они расщепляют полимерные цепи и уменьшают их длину, что приводит к уменьшению вязкости раствора полимера. Различные разрушители гелей характеризуют такими параметрами, как скорость реакции между разрушителем геля и полимером, и температурой активации/деактивации конкретного агента. Хорошая очистка трещины достигается при высокой концентрации разрушителя геля, но слишком высокая концентрация агента может вызвать преждевременное снижение вязкости полимерного геля, что скажется на качестве операции ГРП и вызовет преждевременное осаждение проппанта в трещине. Для решения этой проблемы были разработаны разрушители с отложенным действием, такие как капсулированные реагенты. Капсулированные разрушители геля - это активные реагенты (например, гранулы окислителя), покрытые защитной оболочкой, которая необходима, чтобы физически отделить окислитель от полимера и тем самым задержать реакцию между ними. Разрушение защитной оболочки и выход из капсулы разрушителя геля осуществляется по различным механизмам, включая

механические нагрузки при смыкании трещины. Капсулированные разрушители геля позволяют достичь более высоких концентраций разрушителя в жидкости гидроразрыва, что помогает улучшить очистку трещины.

5 Другой фактор, снижающий проводимость трещины, - закупорка пор в проппантной упаковке частицами из пласта, освобожденными при операции ГРП, закупорка пор остатками разрушенного проппанта, а также несмешивающимся жидкостями (The Impact of Non-Darcy Flow on Production from Hydraulically Fractured Gas Wells, SPE Production and Operations Symposium, 24-27 March, Oklahoma City, Oklahoma, 10 2001; A Study of Two-Phase, Non-Darcy Gas Flow Through Proppant Pacs, SPE Production & Facilities, Volume 15, Number 4, November, 2000). Очевидно, что формирование трещины, где поток проходит не через мелкие поры, а через сеть образованных каналов, может существенно улучшить проводимость благодаря различным эффектам: уменьшаются инерционные потери, улучшается очистка от жидкости 15 гидроразрыва, уменьшаются капиллярные силы, которые ответственны за гидравлическое трение двухфазных потоков, уменьшается эффект засорения пор мелкодисперсными частицами и фрагментами разрушенного проппанта.

В последние годы операции ГРП на пластах с низкой проницаемостью на 20 скважинах Северной Америки осуществляют с закачкой жидкостей гидроразрыва низкой вязкости, причем указанные жидкости или совсем не содержат проппанта, или содержат низкую концентрацию проппанта. Этот подход получил несколько названий, но обычно его называют "гидравлический разрыв с применением загущенной воды". Трещины, полученные через гидравлический разрыв с 25 применением загущенной воды, практически не заполнены проппантом. Полагают, что полученные поверхности трещин смещаются относительно друг друга при образовании и росте трещин. Это несовпадение неровных элементов поверхности (выступы шероховатости) не дают сомкнуться двум противоположным поверхностям 30 после снижения давления жидкости в скважине. Также полагают, что добавка небольшого количества проппанта усиливает эффект неровных и смещенных поверхностей новой трещины. Однако из-за низких транспортировочных свойств жидкости гидроразрыва много проппанта осаждается ниже отверстий перфорации в обсадной колонне, как правило, в основании созданной трещины гидроразрыва. 35 Такое накопление имеет место из-за чрезмерно высокой скорости осаждения проппанта в жидкости гидроразрыва вдоль узкой образованной трещины, а также из-за низкой транспортной способности жидкости для взвеси проппанта (оба аспекта вызваны низкой вязкостью жидкости). Когда в конце операции гидроразрыва с применением загущенной воды прекращают инъекцию загущенной воды, то размеры 40 трещины по длине и высоте сокращаются. Это несколько поджимает проппант, который остается в виде "дюны" в основании трещины. Из-за отграниченной длины такой "дюны", ее ширины и обычно прочности песка (если используют песок с низкой прочностью) такая операция создает только короткие трещины с низкой 45 проводимостью (Experimental Study of Hydraulic Fracture Conductivity Demonstrates the Benefits of Using Proppants, SPE Rocky Mountain Regional/Low-Permeability Reservoirs Symposium and Exhibition, 12-15 March, Denver, Colorado, 2000).

Это обсуждение показывает, что гидроразрыв с применением загущенной воды 50 работает за счет прохождения пластового флюида через сеть канальцев, получающихся в трещине при неполном смыкании трещины (из-за несовершенства поверхностей образованной трещины). То есть гидроразрыв с применением загущенной воды создает трещины с низкой проводимостью. Один из способов

улучшения проводимости трещины гидроразрыва - создать в трещине кластеры проппанта вместо сплошной проппантной упаковки. Патент США №6776235 раскрывает способ гидроразрыва пласта, который включает первоначальную стадию закачивания жидкости гидроразрыва в ствол скважины, причем используемая жидкость содержит загуститель и создает трещину в пласте; затем идут попеременно стадии закачивания жидкости, несущей проппант, и стадии закачивания жидкости без проппанта, причем порции жидкости имеют различную способность нести проппант. В результате из-за существенно различной скорости осаждения проппанта образуются проппантные кластеры, как опоры, препятствующие полному смыканию трещины. В рамках известного способа чередуют порции жидкости, нагруженные проппантом, и порции жидкости, свободные от проппанта. Количество проппанта, осажденное в трещине, на каждой стадии задано транспортными характеристиками жидкости (такими как вязкость и эластичность), плотностью, размером частиц проппанта, концентрацией проппанта, а также скоростью закачки жидкости гидроразрыва.

Известный способ характеризует создание кластеров проппантов или "островков" в объеме трещины и каналов между островками для протока флюида. При этом периодическое закачивание проппанта для реализации указанного метода применяют для переноса порций проппанта первоначально в нижнюю часть скважины, затем через перфорации в колонне обсадных труб в образованную трещину и далее распределение проппанта по длине трещины. Поскольку порции жидкости гидроразрыва с проппантом и без проппанта имеют разные плотности, то жидкость с проппантом будет перемещаться вниз быстрее, чем жидкость без проппанта. Такая разница в осаждении создает неравномерное распределение проппантных кластеров в трещине.

Термин "проппант" обычно относят к дисперсному материалу, который примешивают в жидкость гидроразрыва и закачивают в скважину во время операции гидроразрыва пласта. Этот проппант создает пористый слой, проницаемый для пластового флюида, причем слой противостоит смыканию трещины и удерживает стороны трещины на расстоянии после завершения операции. При обычных обработках квалифицированные работники могут выбрать несколько типов дисперсного материала для обеспечения нужной проницаемости (и гидравлической проводимости) за лучшую цену при известной нагрузке смыкания пласта. Обычные проппанты - это высококачественный, аккуратно просеянный кварцевый песок, алюмосиликатная керамика, спеченные бокситы, шарики силикатной керамики, а также различные дисперсные материалы, покрытые различными органическими смолами. Можно закачивать проппанты, изготовленные из размолотой скорлупы орехов, стеклянных шариков и органических композитов. Одним из важных факторов в выборе проппанта является распределение частиц по размеру. При остальных равных условиях, проппант с более узким распределением по размерам дает упаковку с более высокой проводимостью, чем такой же проппант с таким же средним размером, но более широким распределением по размеру.

Но эти описанные закономерности по выбору и применению проппанта не работают в настоящем изобретении. В данном изобретении термин "проппант" или "расклинивающий агент" определяет любой твердый материал в виде гранул, волокон или иной, который добавляют к жидкости гидроразрыва для создания надежной и стабильной структуры внутри трещины. При этом все традиционно применяемые проппанты также попадают под категорию проппантов в данном изобретении. Однако другие материалы, такие как различные виды песка, металлические полосы и

иглы, диски, абразивные гранулы, органические и неорганические волокна, тоже считаются проппантами (или расклинивающим материалом) в рамках данного изобретения.

5 В описании и пунктах формулы изобретения часто использовано понятие "волокно". Для целей данного изобретения термин "волокно" относится к любому материалу или физическому телу, у которого отношение длины одного из размеров превышает размеры остальных двух или одного пространственного измерения в пропорции как минимум 5:1. Другими словами, это отношение длины к ширине для 10 частицы больше чем 5:1. Поэтому то, что принято называть волокнами, является волокнами в рамках данного изобретения. Аналогично, то, что обычно считается полоской или пластиной, по определению считается волокном в рамках данного изобретения.

15 Данное техническое решение обеспечивает экономически эффективный способ проведения гидроразрыва пласта с образованием трещины, характеризуемой высокой гидравлической проводимостью для пластового флюида. При этом образуются прочные проппантные кластеры или островки, которые распределены по поверхности трещины, что препятствует смыканию трещины после окончания операции. Каналы и 20 открытые зоны, оставшиеся между кластерами и островками и удерживаемые такими кластерами, обеспечивают достаточно сечения для свободного протока пластовых флюидов.

Согласно первому варианту изобретения разработан способ гидравлического разрыва подземного пласта, включающий первую стадию, в процессе которой 25 осуществляют закачивание в ствол скважины жидкости гидроразрыва, содержащей загуститель с образованием трещины в пласте, и вторую стадию, в процессе которой периодически добавляют проппант в жидкость гидроразрыва с последующей подачей проппанта в созданную трещину с образованием кластеров проппанта в трещине, 30 препятствующих смыканию трещины и создающих каналы для протекания жидкости между кластерами, причем во время второй стадии постоянно или во время закачивания проппанта дополнительно вводят в жидкость гидроразрыва укрепляющий и/или консолидирующий материал, увеличивающий прочность кластеров проппанта, образованных в трещине гидроразрыва. Укрепляющий и/или 35 консолидирующий материалы предпочтительно вводят или одновременно с закачиванием проппанта с жидкостью гидроразрыва, или одновременно с закачиванием проппанта с жидкостью гидроразрыва и в промежутках между закачиванием проппанта. Преимущественно укрепляющий и/или консолидирующий 40 материал представляет собой органические, неорганические или органически-неорганические волокна с единственным клейким покрытием или с клейким покрытием, защищенным слоем неклеякого вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва при прохождении материала по трещине, металлические частицы сферической или удлиненной формы, пластины из органического или неорганического 45 вещества, керамики, металла или металлических сплавов с отношением, по меньшей мере, двух из трех размеров больше чем 5 к 1. При осуществлении второй стадии могут дополнительно вводить в жидкость гидроразрыва агент, повышающий транспортирующую способность жидкости. В качестве агента предпочтительно 50 используют материал, содержащий удлиненные частицы, у которых отношение, по меньшей мере, двух их трех размеров больше чем 5 к 1. Материал, содержащий удлиненные частицы, обычно вводят в жидкость гидроразрыва или в промежутках между введением проппанта, или непрерывно. Чаще всего удлиненные частицы



представляют собой волокна, выполненные из природных или искусственных органических материалов или стекла, керамики, углерода, неорганических веществ или металла. Волокна могут быть выполнены на основе полимолочной кислоты, полигликолевой кислоты, полиэтилтерфталата, сополимеров указанных соединений или поливинилового спирта. Используемые волокна могут быть покрыты материалом или выполнены из материала, который становится клейким при температуре породы. Также указанные волокна могут быть выполнены из клейкого материала, который покрыт неклеящим веществом, растворяющимся в жидкости гидроразрыва при прохождении волокон по трещине. В предпочтительном варианте реализации весовая концентрация частиц в жидкости гидроразрыва составляет 0,1-10%. Обычно используют частицы, имеющие длину более чем 2 мм и диаметр 3-200 микрон. В преимущественном варианте реализации закачивают объем жидкости с проппантом, меньший, чем объем жидкости без проппанта, с образованием кластеров проппанта меньшего размера с большими размерами каналов между ними для прохождения пластового флюида. Предпочтительно проппант состоит из смеси групп частиц проппанта, имеющих разный диаметр, причем соотношение диаметров частиц проппанта в каждой группе и количество частиц проппанта в каждой группе выбирают так, чтобы минимизировать пористость получаемых кластеров или островков проппанта. Частицы проппанта могут иметь либо смоляное или клейкое покрытие, либо смоляное или клейкое покрытие, сверху защищенное слоем неклеящего вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва по мере прохождения частиц по трещине. При реализации способа иногда применяют третью стадию, которая состоит в непрерывном введении проппанта в жидкость гидроразрыва с по существу однородными по размеру частицами. При реализации третьей стадии предпочтительно непрерывно вводят в жидкость гидроразрыва укрепляющий материал и/или консолидирующий материал и/или непрерывно вводят в жидкость гидроразрыва материал, представляющий собой удлиненные частицы, повышающие транспортирующие возможности жидкости по переносу проппанта.

Согласно второму варианту разработанного технического решения используют способ гидравлического разрыва подземного пласта, включающий первую стадию, в процессе которой в ствол скважины закачивают жидкость гидроразрыва, включающую загустители, улучшающие образование трещины в породе, и вторую стадию, в процессе которой вводят проппант в закачиваемую жидкость гидроразрыва для предотвращения закрытия трещины, причем дополнительно осуществляют периодическое введение в жидкость гидроразрыва агента, способствующего образованию в созданной трещине кластеров из частиц проппанта и каналов для протекания пластового флюида. Предпочтительно используют агент, формирующий кластеры проппанта, реагирующий с жидкостью гидроразрыва спустя некоторое время после его введения в жидкость гидроразрыва, при этом время введения в жидкость агента выбирают таким образом, чтобы запустить реакцию агента в различных местах созданной трещины, что приводит к формированию кластеров проппантов в этих местах. Обычно момент срабатывания агента задают путем изменения химического состава агента, помещения агента в капсулы с полупроницаемыми мембранами или с пористой оболочкой с возможностью медленной диффузии сквозь оболочку, помещения агента в оболочку, которая растворяется или вымывается, или помещения агента в капсулы с оболочкой, которая разрушается в течение выбранного интервала времени путем растворения в жидкости гидроразрыва, или путем эрозии при столкновении между частицами или с

поверхностью трещины, или путем разрушения капсул при смыкании стенок трещины. Однако возможен вариант, когда момент срабатывания агента задают путем изменения химического состава агента, помещения агента в гранулы из пористого материала, которые разрушаются в течение выбранного интервала времени из-за растворения в жидкости гидроразрыва, или из-за механического разрушения при столкновении гранул между собой или с поверхностью трещины, или из-за разрушения от нагрузок смыкания трещины, или из-за медленного вымывания реагента из гранул. Преимущественно агент выбирают из группы добавок, которые способны значительно изменить локальную вязкость жидкости гидроразрыва и скорость осаждения проппанта. В частности, в качестве агента используют разрушитель геля жидкости гидроразрыва, который реагирует в различных местах трещины, который предпочтительно добавляют в виде частиц с оболочкой, имеющей различную толщину, причем оболочка при растворении в жидкости гидроразрыва пропускает агент для реакции с жидкостью гидроразрыва в различных местах скважины. При этом обычно разрушитель геля выбирают из класса окислителей, способных реагировать с жидкостью гидроразрыва и разрушать полимерные цепи в жидкости гидроразрыва. Одновременно иногда дополнительно вводят катализатор в жидкость гидроразрыва для ускорения действия окислителя, уже растворенного или диспергированного в жидкости гидроразрыва. Иногда используют добавки, которые способны разрушать места действия сшивающих агентов, занимать места действия сшивающих агентов, адсорбировать агенты сшивания в загущенной жидкости гидроразрыва. Однако могут использовать добавки, покрытые оболочками различной толщины, способные растворяться в жидкости гидроразрыва и давать выход добавкам в различных местах трещины. Обычно добавки выбирают из группы, содержащей полимолочную или полигликолевую кислоты, поливиниловые спирты, сорбитол, глюконаты, EDTA, NTA или фосфаты. Добавки могут также выбирать из класса взрывчатых или воспламеняющихся веществ, химически активных металлов или иных реактивных материалов, которые создают эффект локального нагрева жидкости гидроразрыва, при этом добавки помещают в оболочки, которые разрушаются при попадании в трещину и освобождают содержимое в различных местах трещины. В некоторых случаях агент выбирают из группы добавок, способных снижать подвижность частиц проппанта, в частности добавок, представляющих собой пучки волокон, защищенные оболочкой или скрепленные между собой с использованием медленно разрушаемого наполнителя, который при растворении в жидкости гидроразрыва обеспечивает гидратацию и распределение отдельных волокон с повышением их эффективной концентрации в жидкости гидроразрыва, и/или добавок, выполненных из материалов, способных принимать изначальную форму при нагреве до определенной температуры. В последнем случае обычно используют материал в виде отрезков волокон, которые в исходном состоянии свернуты в шарики, а при нагревании распрямляются или увеличиваются в объеме. В некоторых случаях используют добавки, выполненные из материала с высокой абсорбирующей способностью, в частности, используют частицы материала с заблокированной способностью абсорбции путем применения временной оболочки, временной сшивки или временной химической обработки, причем блокировка действует до момента попадания частиц в нужное место в трещине, при этом абсорбент активируется после растворения задерживающего агента, от температуры, от абразии материала или комбинации этих факторов, а также используют добавки в виде гранул, волокон, пластинок, чья поверхность становится клейкой при

температуре породы. Указанные гранулы, волокна, пластинки с клейкой поверхностью могут быть покрыты слоем неклеякого вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва. При реализации второй стадии обычно осуществляют дальнейшее непрерывное введение материала в жидкость гидроразрыва или непрерывно вместе с агентом, причем материал содержит удлиненные частицы, у которых длина намного превышает их диаметр, что повышает транспортные возможности такой жидкости. При этом обычно используют материал с удлиненными частицами, состоящий из природно-органических, искусственно-органических, стеклянных, керамических, углеродных, неорганических, металлических волокон. Указанные полимерные волокна могут быть выполнены на основе полимеров, способных в водной среде гидролизироваться до олигомеров или мономеров, при этом полимеры выбирают из группы, содержащей полимолочную кислоту, полигликолевую кислоту, полиэтилтерфталат и их сополимеры, или способных медленно растворяться, причем скорость растворения зависит от температуры. Также могут быть использованы волокна, выполненные из или покрытые материалом, который при температуре породы становится клейким, или волокна, выполненные из неклеякого материала, покрытого неклеяким веществом, способным растворяться в жидкости гидроразрыва. Преимущественно используют концентрацию материала с удлиненными частицами в пределах 0,1-30% от веса жидкости и/или частицы материала, имеющие отношение длины к диаметру больше чем 5:1. Иногда при реализации второй стадии дополнительно вводят укрепляющий и/или консолидирующий материал в жидкость гидроразрыва непрерывно или совместно с упомянутым агентом. Обычно используют укрепляющий материал, выбранный из группы, содержащей органические, неорганические или органически-неорганические волокна с однослойным покрытием или с клейким покрытием, защищенным слоем неклеякого вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва при поступлении в трещину, металлические частицы сферической или удлиненной формы, пластины органического или неорганического вещества, керамики, металла или металлических сплавов, причем отношение длины к ширине частиц укрепляющего материала больше чем 5:1. Предпочтительно используют укрепляющий материал, представляющий собой смесь фракций, имеющих различные диаметры частиц, причем отношение диаметров из различных фракций частиц и относительное количество фракций выбирают таким образом, чтобы минимизировать результирующую пористость проппанта. При всех вариантах реализации способа обычно используют частицы материала с клейкой оболочкой или с клейкой оболочкой и слоем неклеякого вещества, способного растворяться в жидкости гидроразрыва при прохождении частиц по трещине. При этом иногда дополнительно используют третью стадию, во время которой осуществляют непрерывную подачу проппанта в жидкость гидроразрыва, причем проппант имеет частицы существенно однородного размера, и/или осуществляют непрерывную подачу укрепляющего материала в жидкость гидроразрыва. Укрепляющий материал предпочтительно содержит удлиненные частицы, которые повышают транспортную способность жидкости.

Согласно третьему варианту реализации изобретения способ гидравлического разрыва подземного пласта включает первую стадию, в процессе которой в ствол скважины закачивают жидкость гидроразрыва, содержащую загуститель для лучшего образования трещины в породе, и вторую стадию, в процессе которой непрерывно вводят проппант в закачиваемую жидкость гидроразрыва для предотвращения закрытия трещины, причем дополнительно проводят третью стадию, в процессе

которой закачивают дополнительную жидкость с вязкостью существенно меньше, чем вязкость жидкости гидроразрыва, при этом закачивание осуществляют таким образом, что менее вязкая жидкость проникает в вязкий гель в виде языков, которые разделяют проппант на отдельные кластеры с образованием между кластерами каналов, предназначенных для протекания пластового флюида. Предпочтительно для увеличения транспортных возможностей жидкости гидроразрыва на второй стадии дополнительно вводят в жидкость гидроразрыва непрерывно или совместно с агентом материал, содержащий удлиненные частицы с длиной, превышающей диаметр в отношении более чем 5:1. При этом обычно используют материал с удлиненными частицами, представляющими собой волокна, выбранные из группы волокон, содержащей природные органические, неорганические, искусственные органические, стеклянные, керамические, углеродные или металлические. Чаще всего используют волокна на основе полимеров, способных гидролизироваться до водорастворимых олигомеров или мономеров, синтезированных на основе полимолочной кислоты, полигликолевой кислоты, полиэтилентерефталат и их сополимеры, и/или используют волокна, выполненные на основе полимеров, способных медленно растворяться или с растворимостью, сильно зависящей от температуры, и/или используют волокна, содержащие покрытие или выполненные из материала, приобретающего клейкие свойства при температуре породы, и/или используют волокна, выполненные из материала, который является клейким, и покрытые неклеяким веществом, способным растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании волокон в трещину. Предпочтительно используют весовую концентрацию материала в жидкости гидроразрыва в пределах 0,1-30%, используя при этом частицы материала, имеющие отношение длины к ширине больше чем 5:1. Предпочтительно при реализации второй стадии непрерывно или вместе с агентом дополнительно вводят укрепляющий материал в жидкость гидроразрыва, преимущественно используя при этом укрепляющий материал, выбранный из группы, содержащей органические, неорганические или органически-неорганические волокна, имеющие клейкое покрытие или клейкое покрытие со слоем неклеякого покрытия, способное растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании в трещину, а также металлические частицы сферической или удлиненной формы, пластины из органического или неорганического вещества, керамики, металлов или сплавов с отношением двух из трех размеров больше чем 5 к 1. При реализации варианта разработанного способа обычно используют проппант, состоящий из смеси фракций, имеющих различные диаметры частиц, причем отношения диаметров из различных фракций частиц и относительное количество фракций выбирают таким образом, чтобы минимизировать результирующую пористость проппанта, и/или используют частицы проппанта, имеющие клейкое покрытие или клейкое покрытие, защищенное дополнительным слоем неклеякого вещества, способного растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании волокон в трещину. Иногда при реализации этого варианта способа дополнительно осуществляют четвертую стадию, при реализации которой в жидкость гидроразрыва непрерывно подают проппант, причем частицы проппанта существенно однородны по размеру, и/или непрерывно подают укрепляющий материал, и/или непрерывно подают материал с удлиненными частицами, которые увеличивают транспортную возможность жидкости гидроразрыва.

Обычно операции ГРП выполняют как последовательность двух или более стадий. Во время первой стадии большинства операций ГРП происходит закачивание жидкости разрыва без проппанта, то есть жидкости на основе воды или нефти,

которую закачивают при высоком давлении и высокой скорости для создания гидравлической трещины. На практике готовят жидкость с повышенной вязкостью, добавляя различные загустители; квалифицированный исполнитель может контролировать вязкость, которая влияет на окончательную конфигурацию трещины. В описанном изобретении применяют такую стадию закачивания жидкости гидроразрыва без проппанта.

Следующая и обычно неразрывно следующая (основная) стадия ГРП известна как стадия расклинивания, или доставки проппанта в трещину. При обычной операции ГРП во время этой стадии закачивают жидкость, имеющую постоянную или возрастающую концентрацию обычного проппанта. Это создает высокопористый слой проппанта в конце операции. Квалифицированный исполнитель знает, как выбирать подходящий проппант для конкретных условий в продуктивном пласте, чтобы максимизировать гидравлическую проводимость трещины. При обычном ГРП стадию закачки проппанта продолжают до окончания операции. Часто самое окончание стадии доставки проппанта называют стадией "завершения". На этом финишном этапе для уменьшения выноски проппанта после закачивания основного проппанта закачивают порцию проппанта с отверждаемым смоляным покрытием и/или волокна.

В отличие от вышеописанной обычной процедуры стадию закачки проппанта заменяют серией существенно различных интервалов, далее называемых "проппантная пачка"; а интервал, в котором присутствует только жидкость-носитель, получил название "гелевая пачка". В скважину закачивают, по меньшей мере, одну пачку (интервал), содержащую проппант, и одну пачку без проппанта. Состав и продолжительность проппантной пачки подбирают таким образом, что частицы расклинивающего агента агрегируют с образованием прочных колонн или островков, что удерживает трещины от полного закрытия и создает между ними каналы для протока пластовых флюидов между этими кластерами. Поскольку гидравлическая проводимость трещины определяется этими открытыми каналами, то в одной части данного изобретения осуществляют выбор состава проппантного материала, который необходим для нужной прочности на сжатие и устойчивости к эрозии образованных проппантных островков для конкретных пластовых условий. Проницаемость самого кластера (островка) в данном случае незначительна или имеет вторичную значимость для проводимости трещины.

Согласно другому аспекту изобретения проппантные пачки могут содержать дополнительные укрепляющие или консолидирующие материалы, которые увеличивают образованные проппантные кластеры. Укрепление и консолидация означает любой химический или физический процесс, применяемый для усиления адгезии между частицами или применяемый для увеличения сил трения, удерживающих частицы вместе; или это означает процесс, механически удерживающий частицы от разъединения при приложении внешней силы. Конкретными примерами укрепления структуры могут быть волокна (частицы с отношением длины к ширине больше чем 5:1), деформируемые материалы, смоляное покрытие на частицах, которое обеспечивает их взаимное прилипание.

Во многих случаях полезно вводить укрепляющий материал вместе с проппантом, который подмешивают в суспензию, хотя во многих случаях такой укрепляющий материал добавляют в жидкость непрерывно.

Типы укрепляющего материала: органические, неорганические, или органически-неорганические волокна. Эти волокна обрабатывают или сразу готовят с одним

клейким покрытием, или с клейким покрытием, защищенным слоем неклеякого растворимого вещества, которое растворяется в жидкости гидроразрыва при ее протекании по трещине. Укрепляющий материал может быть представлен

5  
металлическими частицами со сферической или удлинённой формой; пластинами органического или неорганического происхождения; керамическими, металлическими (сплавы) в форме диска или частицами с прямоугольной формой по длине и высоте, причем отношение между любыми из трех измерений больше чем 5 к 1.

Предпочтительно вторая стадия включает введение в жидкость разрыва агента, который повышает способность удержания проппанта. Этот агент может быть

10 материалом из удлинённых частиц, у которых длина намного больше диаметра.

Удлинённые частицы вводят совместно с проппантом в жидкость разрыва или отдельно, то есть прерывистым образом.

Предпочтительно удлинённые частицы имеют длину более 2 мм и диаметр в

15 интервале 3-200 микрон.

Частицы проппанта могут быть с одним клейким покрытием, или этот клейкий слой защищен защитным слоем, который постепенно растворяется в жидкости разрыва при протекании жидкости разрыва по трещине.

При определенных пластовых условиях может быть полезным при реализации

20 указанного способа гидроразрыва применять финальную стадию завершения, которая заключается в непрерывном подмешивании в жидкость гидроразрыва проппанта с существенно однородным размером частиц проппанта. Вместе с тем, можно вводить в жидкость разрыва укрепляющий материал или материал в виде удлинённых частиц,

25 который повышает транспортные возможности проппантной суспензии.

Для построения высокопроводящих трещин в операциях ГРП может использоваться другой способ получения разнесённых проппантных колонн. Вторым

вариантом осуществления изобретения включает первую стадию, когда загущённую

30 жидкость гидроразрыва закачивают в ствол скважины (стадия чистой жидкости); и вторую стадию, когда проппант постоянно добавляют в жидкость гидроразрыва (а значит, и в появившуюся трещину) для предотвращения смыкания трещины. Согласно изобретению вторая стадия включает периодическое подмешивание в жидкость агента, который способствует формированию проппантных кластеров в трещине.

35 Между кластерами (островками) остаются открытые каналы для протекания жидкости гидроразрыва.

При образовании проппантного кластера такой агент реагирует с жидкостью гидроразрыва через определенный интервал времени (зависит от того, сколько

40 времени прошло с момента введения агента в жидкость). Этот временной интервал отслеживают и варьируют при проведении операции ГРП, чтобы запустить реакцию между агентом и жидкостью гидроразрыва в различных местах образованной трещины. В результате реакции образуются кластеры, которые распределены по трещине. Задержку реакции с агентом осуществляют по одному из известных

45 механизмов: подбор химического состава агента; помещение агента в капсулы, которые растворяются жидкостью гидроразрыва; эрозия оболочек капсул в результате столкновения капсул между собой (или с поверхностью трещины после смыкания трещины); помещение агента в капсулы с полупроницаемой оболочкой,

50 которая затем набухает и разрывается в жидкости гидроразрыва; применение пористой оболочки, через которую происходит медленная диффузия агента в жидкость гидроразрыва; помещение агента в капсулу, которая растворяется и уносится потоком.

Этот агент может быть в виде добавки, которая производит существенное локальное снижение вязкости жидкости гидроразрыва, в результате чего частицы проппанта, оказавшиеся в зоне пониженной вязкости, будут осаждаться и застревать между поверхностями трещины.

Среди такого рода добавок могут быть разрушители геля, которые реагируют контролируемым образом при поступлении в трещину. Разрушитель геля для жидкости гидроразрыва может быть из класса окислителей, ферментов и хелант (для ионов сшивания полимеров) или из класса реагентов, которые изменяют рН жидкости до уровня, при котором сшивки полимера или его основанная цепь становятся нестабильными. Результатом должна быть реакция между разрушителем геля и сжелированной жидкостью, что создает существенное понижение вязкости жидкости гидроразрыва. В жидкость может быть добавлен катализатор, который усиливает скорость реакции разрушителя геля (при необходимости).

Добавки могут быть из класса веществ, которые разрушают сшивающий агент, ответственный за загущение жидкости. Неограничивающими примерами добавок могут быть хелатные агенты, EDTA, NTA для сшивающих агентов на основе иона циркония, а также сорбитол или поливиниловый спирт для сшивающих агентов на основе бора. Такие добавки можно заключать в капсулы с оболочками различной толщины и разнообразными механизмами выпуска содержимого капсул в нужные места в трещине ГРП. Также можно использовать капсулированные или с задержанным действием кислоты и основания.

Агентом, который используют для инициации образования проппантных кластеров в трещине, полученной в продуктивном пласте, может быть добавка, которая снижает подвижность частиц проппанта. Примером таких добавок являются пучки волокон, покрытые материалом, который при растворении вызывает гидрирование и дисперсию волокон или увеличивает их концентрацию. Среди добавок может быть материал, который возвращается к первоначальной форме при достижении определенной температуры, например волокна, скрученные в шарики, которые распрямляются или расширяются при нагревании.

Добавкой может быть и материал с высокой сорбционной способностью. Легко сорбирующие частицы окружают оболочкой, которая растворяется при попадании частицы в трещину, или при подъеме температуры в жидкости разрыва, или при комбинации обоих факторов.

Добавки можно использовать в форме гранул, волокон, пластинок с поверхностями, которые становятся клейкими при температуре пласта. Эти элементы могут иметь клейкую поверхность или могут быть дополнительно защищены неклеящим слоем, который растворяется в жидкости гидроразрыва.

Согласно еще одному варианту осуществления данного изобретения заявлен способ гидроразрыва пласта, который включает несколько стадий: первая стадия, когда загущенную жидкость гидроразрыва закачивают в ствол скважины (стадия чистой жидкости); вторая стадия, когда проппант постоянно добавляют в жидкость гидроразрыва (а значит, и в появившуюся трещину) для предотвращения смыкания трещины. Далее способ включает третью стадию, во время которой жидкость с низкой вязкостью инжектируют в жидкость гидроразрыва. Такая жидкость благодаря большой разнице между собственной вязкостью и вязкостью жидкости гидроразрыва проникает в жидкость гидроразрыва в виде зон проникновения, которые будут разделять проппант на отдельные кластеры с образованием между ними каналов для потока жидкости.

Аналогично способу по первому варианту вторая стадия во втором и третьем варианте осуществления изобретения может включать закачку материала с удлиненными частицами и/или укрепляющего материала или закачивание проппанта с этими же свойствами. Вместе с тем, возможно применение дополнительной заканчивающей стадии, которая состоит в постоянном добавлении в жидкость гидроразрыва проппанта с существенно однородным размером частиц и укрепляющего материала и/или материала с удлиненными частицами.

Краткое описание чертежей

Следующие чертежи иллюстрируют описание данного изобретения:

Фиг.1 показывает график вязкости жидкости гидроразрыва как функцию концентрации проппанта.

Фиг.2 изображает кластеры проппанта, образованные в трещине при реализации данного изобретения.

Фиг.3 изображает кластеры проппанта, образованные в трещине при реализации способа согласно второму варианту осуществления.

Фиг.4 изображает кластеры проппанта, образованные в трещине при реализации способа согласно третьему варианту осуществления (последовательно от рисунка а) до d)), при этом происходит образование вязких языков при вытеснении вязкой жидкости другой жидкостью, с меньшей вязкостью. На чертеже показаны результаты численного моделирования. Серый цвет соответствует вязкой жидкости с проппантом. Черным цветом изображены языки менее вязкой жидкости, которые проникают в проппантовую упаковку и создают в ней открытые каналы. Стабильность образованных каналов может быть усилена, если вязкая жидкость имеет напряжение пластического течения.

В дальнейшем будет приведено детальное описание основных вариантов осуществления изобретения

Согласно первому варианту осуществления изобретения описан способ проведения ГРП.

Второй вариант осуществления изобретения включает первую стадию, при которой жидкость гидроразрыва закачивают в ствол скважины (далее стадия «чистой жидкости») при достаточно высокой скорости подачи жидкости, что создает гидравлические трещины на поверхности породы. Первая стадия продолжается пока не образуется трещина достаточных размеров, куда сможет быть закачен проппант на последующих проппантных стадиях. Объем первой стадии рассчитывает специалист, сведущий в технике гидроразрыва (см. Reservoir Stimulation, 3th ed, M.J.Economides, K.G. Nolte, Editors, John Wiley and Sons, New York, 2000).

В случае жидкостей гидроразрыва на основе воды обычно для загущения жидкости добавляют природные или синтетические полимеры (растворимые в воде), причем они присутствуют в жидкости на на всех стадиях - на интервале без проппанта (чистая жидкость) и с проппантом. Среди подходящих полимеров можно назвать, без наложения ограничений, гуаровые смолы, высокомолекулярные полисахариды, состоящие их сахаров маннозы и галактозы; или производные гуара, такие как гидропропил гуара, карбоксиметил гуара и карбоксиметилгидропропил гуара. Распространенными сшивающими агентами для гуара являются вещества, содержащие бор, титан, цирконий и алюминий: такие агенты увеличивают эффективный молекулярный вес полимера и делают возможным применение полимера в высокотемпературных скважинах.

В некоторой степени производные целлюлозы (гидроксиэтил целлюлоза,



гидроксипропил целлюлоза, гидроксиметилгидроксиэтил целлюлоза) могут быть использованы со сшивающими агентами или без них. Два биополимера - ксантан и склероглюкан - имеют отличные параметры по поддержанию проппанта, но более дорогие, чем иные производные гуара, поэтому их используют реже. Полимеры и сополимеры полиакриламида и полиакрила обычно используют в высокотемпературных приложениях или для понижения трения при низких концентрациях во всем температурном диапазоне.

Другой пример водоосновной жидкости для гидроразрыва без добавления полимеров (гелей) - водный раствор вязкоэластичного сурфактанта. Обычно такие флюиды готовят из подходящего количества сурфактантов (ПАВ), таких как анионные, катионные, нейтральные сурфактанты и цвиттерионные комплексы. Вязкость таких вязкоэластичных жидкостей на основе сурфактантов связана с трехмерной структурой, сформированной компонентами жидкости. Если концентрация сурфактанта превышает некий критический уровень, а также обычно при наличии электролита, молекулы сурфактанта начинают агрегировать в структуры, например в фибриллоподобные или стержнеобразные мицеллы, которые взаимодействуют между собой и образуют некую сеть, являющуюся причиной вязкостного и эластичного поведения жидкости.

Вторая стадия способа, далее именуемая "проппантная стадия", означает периодическое введение твердых частиц или гранул в жидкость гидроразрыва - в результате образуется суспензия. Проппантная стадия разделена на периодически повторяющиеся физически отличные интервалы: "гелевая пачка" означает закачку геля (жидкости гидроразрыва) без проппанта, а последующая "проппантная пачка" имеет в своем составе проппант. В результате периодического поступления пачек, нагруженных частицами проппанта, этот проппант не может полностью заполнить трещину. Напротив, в трещине образуются кластеры проппанта, и между ними образуются каналы для свободного прохождения флюидов, как показано на Фиг.2. Объемы двух контрастных пачек, гелевой и проппантной, могут отличаться. Другими словами, объем гелевой пачки может быть больше или меньше, чем объем пачки, нагруженной проппантом. Более того, сами объемы этих интервалов могут меняться со временем. Например, объем проппантной пачки в начале операции ГРП может быть меньше, чем такая же пачка, но закачанная позже. Относительные объемы пачек выбирает инженер на основе соображений о том, какая часть поверхности трещины должна поддерживаться проппантными кластерами и какая часть площади трещины отводится на свободные каналы, через которые позже будут протекать пластовые флюиды.

Укрепляющий и/или консолидирующий материал вводят в жидкость гидроразрыва во время проппантной стадии для укрепления проппантных кластеров и предотвращения развала кластеров во время смыкания трещины. Обычно укрепляющий материал добавляют в проппантную пачку (интервал), но, как будет показано далее, это не всегда обязательно. Концентрацию проппантного и укрепляющего материала можно изменять во время закачки, а также от одной пачки к другой. То есть концентрация укрепляющего материала может быть различной в двух последующих пачках. Для некоторых приложений раскрываемого способа может оказаться полезным подавать укрепляющий материал постоянным образом во время всей проппантной стадии (то есть во время гелевой и проппантной пачки). Другими словами, введение укрепляющего материала относится не только к интервалу проппантной пачки. В частности, для различных применений можно реализовывать

различные варианты: концентрацию укрепляющего материала можно не изменять на протяжении проппантной стадии, концентрацию монотонно увеличивают на протяжении проппантной стадии; концентрацию монотонно уменьшают на протяжении проппантной стадии.

5 В качестве укрепляющего или консолидирующего материала при образовании кластеров, в частности, применяют проппанты со смоляным покрытием (отверждаемая или частично отверждаемая смола). Опытный работник в состоянии подобрать подходящий проппант со смоляным покрытием для конкретной  
10 температуры в скважине и для конкретной жидкости гидроразрыва. Кроме того, для укрепления проппантных кластеров могут использоваться природные или искусственные волокна. Эти материалы используют отдельно или в сочетании с проппантом со смоляным покрытием. Эти волокна могут быть модифицированы для  
15 повышения клейкости (адгезии), или клейкое покрытие на волокнах защищено дополнительным слоем неклеякого вещества, которое растворяется в жидкости гидроразрыва по мере попадания в трещину при температуре трещины. Другим вариантом укрепляющего материала являются металлические частицы, и их  
20 изготавливают из алюминия, стальных сплавов с низкой коррозией и иных металлов и сплавов. Форма металлических частиц близка к сферической форме, и их средний размер находится в интервале 0,1-4 мм. Предпочтительно используют металлические частицы удлиненной формы с длиной менее чем 2 мм и диаметром от 10 до 200  
25 микрон. Также в качестве укрепляющего материала могут использовать пластины из органических и неорганических материалов, керамики, металлов или металлических сплавов. Эти пластины могут быть дисками или прямоугольными фигурами с такими длиной и шириной, что отношение любого из двух или трех размеров больше чем 5 к 1.

На фазе проппантной или гелевой пачки возможно введение агента в жидкость гидроразрыва для увеличения ее транспортной способности, что обеспечивает  
30 уменьшение скорости осаждения проппанта. В качестве агента могут быть выбраны удлиненные частицы, у которых длина значительно больше диаметра. Такой материал влияет на реологические свойства жидкости и подавляет конвективное течение, что замедляет осаждение частиц в жидкости. Используемые материалы могут иметь форму волокон из органических, неорганических материалов, в частности из стекла,  
35 керамики, нейлона, углерода или металла. Агенты для переноса проппанта могут обладать свойством разлагаться в водной жидкости гидроразрыва или в скважинной жидкости, например волокна, которые изготавливаются на основе полимолочной кислоты, полигликолевой кислоты, поливинилового спирта и подобных веществ.  
40 Волокна могут изготавливать целиком или с покрытием из материала, который может становиться клейким в условиях скважинной температуры. Волокна могут иметь клейкое основание, которое покрыто неклеяким веществом, которое растворяется в жидкости гидроразрыва при прохождении трещины ГРП. Предпочтительно волокна  
45 должны иметь длину не более чем 2 мм и диаметр в интервале 10-200 микрон согласно главному условию, что отношение любых двух из трех размеров будет больше чем 5 к 1. Преимущественно массовая концентрация волоконного материала составляет от 0,1 до 10%.

При применении этого изобретения важен выбор проппанта, особенно  
50 применительно к укреплению прочности проппантных кластеров. Проппантный кластер должен сохранять разумную остаточную толщину при приложении напряжения смыкания трещины. Данный метод обеспечивает проток жидкости/флюида по каналам между проппантными кластерами. В данной ситуации

проницаемость самого проппанта не очень важна для увеличения дебита скважины согласно данному способу. Таким образом, проппантные кластеры могут быть получены из песка, частицы которого имеют недостаточную прочность, чтобы

5 использоваться в стандартных операциях гидроразрыва для данной породы. Стоимость песка значительно ниже, чем керамического проппанта. Кроме того, разрушение частиц песка при нагрузках смыкания трещины может улучшить прочностные характеристики того же проппантного кластера, сложенного из гранул проппанта. Это может иметь место, поскольку разрушение частиц проппанта  
10 уменьшает пористость кластера, что повышает степень его компактности. Песок, который закачивают в трещину для создания проппантных кластеров, не обязан иметь хорошие гранулометрические свойства, то есть узкое распределение частиц по размеру. К примеру, рассмотрим практическое применение описанного способа при закачке 50 тонн песка: в типичном случае от 10 до 15 тонн песка имеет диаметр частиц  
15 от 0,002 до 0,1 мм, от 15 до 30 тонн песка имеет диаметр частиц от 0,2 до 0,6 мм, и от 10 до 15 тонн песка имеет диаметр частиц от 0,005 до 0,05 мм. Заметим, что при традиционном подходе необходимо около 100 тонн проппанта (по цене выше, чем песок), чтобы достичь близкой величины гидравлической проводимости трещины.

20 В рамках данного изобретения может оказаться полезным использовать песок с клейким покрытием или с двойным слоем, когда клейкий слой защищен неклеящим веществом, способным растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании в трещину. Неклеящее вещество помогает гарантировать, что частицы проппанта не слипнутся преждевременно, до попадания в трещину, и это позволяет контролировать  
25 момент времени/места в трещине, когда/где частицы проппанта приобретут клейкие свойства. Клейкое покрытие отверждается при температуре породы, и частицы песка склеиваются между собой. Связывание частиц внутри кластеров уменьшает скорость эрозии пластовым флюидом, что уменьшает размывание проппантного кластера в  
30 результате эрозии.

В некоторых случаях в рамках первого варианта осуществления изобретения может потребоваться, чтобы проппантную стадию завершали третьей стадией, далее называемой "стадией завершения", которая требует непрерывной закачки проппанта. В этом случае стадия завершения напоминает операцию обычно ГРП, при этом вблизи  
35 ствола скважины в трещине создают непрерывный слой высококачественного проппанта. На стадии заканчивания трещины может потребоваться введение агента, который повышает транспортную способность жидкости гидроразрыва, или агента в виде укрепляющего (консолидирующего) материала. Отличие третьей стадии  
40 "заканчивания" от второй стадии состоит в том, что происходит непрерывное закачивание отсортированного проппанта, то есть проппанта с частицами однородного размера. На этом этапе прочность проппанта достаточна, чтобы выдержать нагрузки, возникающие при смыкании трещины. Роль проппанта на этой стадии в том, чтобы предотвратить полное смыкание трещины и сохранить хорошую  
45 гидравлическую проводимость вблизи ствола скважины. Проппанты на третьей стадии имеют характеристики, близкие к характеристикам обычных проппантов.

Согласно данному варианту способ гидроразрыва пласта включает введение одного или двух агентов в рабочую жидкость, что способствует образованию  
50 кластеров проппанта в трещине при непрерывном закачивании проппанта (расклинивающего материала). Реагирующий агент стимулирует локальное образование проппантного кластера. Обычно агент выбирают или составляют таким образом, что его активация отложена до момента доставки в трещину. Отложенная

химическая или физическая реакция - это прием, который широко используется в практике ГРП, а также других промышленных приложениях. Один из подходов - простая температурная активация агента по мере нагрева жидкости гидроразрыва при закачивании в глубокие подземные слои. Например, персульфат аммония гидролизуеться сравнительно медленно при поверхностной температуре около 20 град С, но реакция становится очень быстрой при температуре породы около 100 град С. Второй подход - медленное растворение агента или связующего компонента. Например, пропорции растворения поливинилового спирта в воде зависят от молекулярного веса полимера. В практике ГРП часто применяют реактивы, помещаемые в защитные капсулы. Реагирующий материал или агент на некоторое время защищен от взаимодействия с жидкостью ГРП сравнительно пассивной оболочкой капсулы. Материал в капсуле выпускает агент быстро или медленно в зависимости от способов разрушения капсулы. Высвобождение агента из капсул достигается путем растворения, механической эрозии, раздавливанием, набуханием, разрывом оболочки или путем медленной диффузии. Такие примеры механизмов освобождения реагентов описаны во многих патентах и публикациях (патенты США №5658861; №4657784; №5716923; №5505740; №5910322).

Этот вариант осуществления включает несколько этапов. Первую стадию, "стадию чистой жидкости", проводят обычным образом. В отличие от первого варианта осуществления, где проппант закачивают прерывистым образом, в этом варианте проппант (расклинивающий агент) закачивают непрерывно. Концентрация проппанта может возрастать, оставаться постоянной или понижаться во время этой стадии. Обычно начинают с низкой концентрации проппанта, и она возрастает до высокого уровня в конце операции. Ключевым моментом этого осуществления изобретения является то, что агент вызывает зародышеобразование или образование проппантных кластеров, если агент вводят в жидкость гидроразрыва непрерывно или импульсно на протяжении проппантной стадии. Агент подбирают таким, чтобы он работал только в небольшой зоне в объеме трещины ГРП. Внутри такой малой зоны агент воздействует на проппант так, что способствует образованию кластеров, проппант образует мостики и арки и теряет подвижность. Кроме того, проппант, который закачивают уже после образования кластера, может накапливаться на таком кластере и увеличивать его размер.

Один из подходов для реализации изобретения - образование кластеров проппанта через локальное изменение способности жидкости нести твердую фазу (частицы). В этом случае агент выбирают в виде высокой концентрации окислительного "разрушителя геля", такого как персульфат аммония, который через точечные реакции в различных местах трещины приводит к резкому и существенному понижению вязкости жидкости гидроразрыва. После того как вязкость жидкости упала ниже критической величины и жидкость уже не может переносить частицы проппанта, частицы останавливаются, оседают и образуют кластеры частиц. Добавление волокон в суспензию очень усиливает образование проппантных кластеров. Фиг. 1 демонстрирует критическую вязкость жидкости гидроразрыва как функцию концентрации проппанта. Разрушитель геля в капсулах с длительным интервалом высвобождения реагента могут закачивать в начале проппантной стадии, а похожие разрушители геля, но с коротким временем срабатывания, могут применять в конце этой стадии.

Укрепляющие материалы (волокна) способствуют тенденции частиц проппанта устраивать локальный затор между стенками трещины и создавать кластер. Таким

образом, в данном варианте осуществления волокна и другие укрепляющие материалы, которые обсуждались выше, добавляют в жидкость гидроразрыва во время пропантной стадии непрерывным или прерывистым образом (в то же время, что и добавление разрушителя геля).

5 Требования к свойствам пропантанта, что были раскрыты в первом варианте осуществления, применимы и здесь. Возможно применение пропантанта без узкого распределения частиц по размерам, то есть слабо отсортированного пропантанта с умеренной устойчивостью частиц к разрушению. Например, это могут быть частицы  
10 песка с покрытием, описанным в первом варианте осуществления изобретения. Здесь также может иметь место третья, завершающая, стадия, которая была описанная выше.

Химические реагенты, которые берут на себя химические связи сшивающих агентов, - это другой тип агентов, применимый для локального снижения вязкости.  
15 Локальный выпуск хелирующих агентов (для реакции конкуренции со сшивающим агентом на основе иона цинка), сорбитол или поливиниловый спирт (забирает ион бора) и другие вещества, которые способны дезактивировать сшивающий агент, вызывают расшивку цепей полимера, что серьезно понижает вязкость жидкости гидроразрыва. Поскольку механизм сшивания полимеров зависит от рН раствора, то локальная концентрация кислоты или основания может вызвать локальное изменение вязкости полимерного геля. Например, можно манипулировать рН жидкости гидроразрыва через введение капсулированной кислоты или введение частиц, таких  
20 как полимолочная кислота или полигликолевая кислота, которые производят растворимую кислоту с контролируемой скоростью. Изменение рН жидкости гидроразрыва уменьшает сродство сшивающего агента к полимеру, и вязкость геля уменьшается для определенной комбинации сшивающий агент - полимер.

Для этого могут применяться капсулированный абсорбер или конкурирующий  
30 комплексообразующий агент, который берет на себя функцию сшивателя полимера, работающего с контролируемой скоростью. В случае солей борной кислоты могут применять глюконат натрия и сорбитол натрия. В случае сшивающих агентов на основе металлов, например соли титанатов или цирконатов, применяют также такие реагенты, как (список неполный) EDTA, NTA, фосфаты, ацетаты поливинила. Выбор  
35 конкретного реагента для атаки на сшивающий агент хорошо известен квалифицированным операторам, и процесс описан в таких справочниках, как R.M. Smith, A.E. Martell, "Critical Stability Constants". Vol.1-6, Plenum Press, New York (издания 1974, 1975, 1976, 1977, 1982, 1989 гг.). Применяют и абсорбенты, например  
40 фосфаты и ацетаты поливинила.

Агент, который способствует формированию пропантных кластеров через уменьшение вязкости жидкости гидроразрыва, также можно выбирать среди реагентов, которые при встрече с жидкостью гидроразрыва производят существенное  
45 количество тепла, а локальный нагрев жидкости гидроразрыва снижает локально ее вязкость. Примером таких веществ являются взрывчатые вещества или капсулированные высокорекреакционные металлы, такие как натрий: локальное высвобождение реагента способствует образованию пропантных кластеров по длине трещины (патентная заявка US 2004/1226715 A1).

50 Третий вариант осуществления изобретения направлен на образование пропантных кластеров и каналов между кластерами через механизм снижения подвижности пропантанта в трещине. Это способ включает первую и вторую стадии, подобно второму варианту, но различие состоит в том, что здесь надо снизить

подвижность частиц проппанта, и это вызовет образование кластеров.

Среди таких агентов могут быть пучки волокон, которые постепенно расширяются и теряют отдельные волокна благодаря механическому перемешиванию. Возросший объем пучка и локальное увеличение концентрации волокон может вызвать затор в потоке проппантных частиц и создать необходимые проппантные кластеры.

Такой добавкой может быть и нарубленная проволока из сплава, обладающая свойствами "памяти формы". Например, сплав медь-алюминий-никель (CuAlNi) обладает свойствами памяти формы в интервале температур, характерных для многих нефтегазовых пород. Эти материалы можно согнуть в виде маленьких шариков (пружин), и они сохраняют эту форму при наземных температурах. Но будучи нагреты до температуры пласта, материалы с эффектом "памяти формы" претерпевают фазовый переход и возвращаются к первоначальной (прямолинейной) форме. Через состав сплава можно варьировать температуру такого фазового перехода. Можно также закачивать материалы, у которых температура фазового перехода отличается от порции к порции. В начале проппантной стадии, к примеру, имеет смысл ввести материалы с самой высокой температурой фазового перехода, например слегка ниже, чем температура окружающей породы; и в конце этой стадии имеет смысл вводить материал с самой низкой температурой фазового перехода, например чуть выше, чем поверхностная температура несущей жидкости. Шарик из проволоки с эффектом "памяти формы" обычно близки по размерам к частицам проппанта (К. Otsuka, С.М. Wayman, Shape memory materials, Cambridge University press, 1999; EP 0360319; патент США 5040283; патент США 5057114; патент США 6752208; патент США 4980960; патент США 4619320).

Когда такие шарики из особого сплава подвергаются нагреву до повышенной температуры трещины, то они стремятся восстановить первоначальную форму, то есть стать прямыми. Как отмечалось выше, локальное увеличение их концентрации способствует образованию проппантных кластеров в трещине. Возможность варьировать температуру этого эффекта через изменение состава сплава позволяет получить выпрямленные куски проволоки (а с ними и неподвижные кластеры проппанта) распределенными по всей длине трещины.

Воплощение изобретения в рамках третьего варианта может быть построено на использовании суперабсорбирующего материала, который устроит локальные заторы в текущей жидкости гидроразрыва. Суперабсорбенты, такие как сшитые сополимеры полиакриламида и полиакрилата, способны абсорбировать массу воды, которая в 100-300 раз превышает их собственный вес. Сейчас доступен широкий выбор различных суперабсорбентов. Выбор одного из абсорбентов для целей настоящего изобретения определяется такими факторами, как температура породы, соленость воды, которую применяют для составления жидкости гидроразрыва, и другие.

В рамках данного способа предпочтительно применять суперабсорбент, покрытый оболочкой, или эмульсию, которая подвергается растворению или диспергированию по мере прохождения по трещине, или вследствие повышения температуры жидкости гидроразрыва, или как следствие комбинации обоих факторов. Возможно контролировать временной интервал между введением суперабсорбента в жидкость гидроразрыва и высвобождением его в жидкость через регулируемую толщину оболочки. Когда оболочка растворяется или разрушается, содержимое начинает набухать благодаря абсорбции воды из окружения. Увеличение массы и размера частиц замедляет их движение по трещине и заканчивается полной остановкой, захватом частиц проппанта и образованием проппантных кластеров.

В третьем варианте осуществления изобретения частицы, которые используют для уменьшения подвижности проппанта в трещине, могут быть взяты в виде гранул, волокон, пластинок, чья поверхность становится "клейкой" при температурах в породе. В практике этого способа возможно поверх клейкой поверхности наносить 5 слой неклеякого вещества, которое растворяется в жидкости гидроразрыва; через изменение толщины такого временного слоя можно варьировать время, прошедшее до формирования проппантных кластеров из-за адгезивной природы поверхностей. Другим приемом для управления временем срабатывания реагента является 10 применение покрытия, которое становится клейким при различных температурах. Для реализации этого приема можно вводить частицы с максимальной толщиной защитного покрытия (то есть с максимальной температурой приобретения свойств адгезии) в начале второй стадии. Аналогично полезно ввести частицы с минимальным 15 покрытием (то есть с минимальной температурой включения "адгезии") в конце второй стадии. Когда такие частицы попадают в трещину, то они сталкиваются и слипаются, образуя агломераты частиц проппанта. Когда размер такого агломерата становится сравнимым с характерной толщиной трещины, то частицы застревают между сторонами трещины и формируют проппантный кластер.

Как и в предыдущем варианте осуществления изобретения, этот вариант может включать введение укрепляющего материала в жидкость гидроразрыва, что призвано укрепить проппантные кластеры; а также введение агентов, которые должны 20 повысить транспортную способность жидкости (то есть уменьшить скорость осаждения проппанта в жидкости гидроразрыва). Все эти требования к выбору проппанта, в частности требование умеренной прочности проппанта, (возможно) 25 допустимость широкого спектра частиц по размерам, покрытие проппанта связующим слоем, который активируется условиях пластовой температуры, применимы и в этом варианте осуществления изобретения. Вышеупомянутая третья стадия может быть также применима в данном способе.

Четвертый вариант осуществления способа гидроразрыва пласта направлен на образование кластеров из проппанта и каналов между ними через последовательное 30 закачивание двух жидкостей с существенно различной вязкостью. Такой способ начинается с первой стадии, которая совпадает с первой стадией в вышеупомянутом варианте осуществления изобретения, а вторая стадия включает постоянное введение проппанта в данную жидкость.

Аналогично предыдущему варианту осуществления изобретения вторая стадия может включать введение укрепляющих материалов в жидкость гидроразрыва (эти 40 материалы призваны укреплять образованные проппантные кластеры), а также введение агента для улучшения транспортной способности жидкости путем снижения скорости осаждения проппанта. Все требования к выбору проппанта, такие как умеренная прочность материала проппанта, широкое распределение частиц по 45 размерам, предварительное нанесение связующего слоя, который активируется в пластовых условиях, применимы и в данном варианте осуществления.

Во время третьей стадии прекращается подача жидкости гидроразрыва, несущей проппант и укрепляющий материал, а вместо этого в трещину закачивается жидкость с очень низкой вязкостью. Благодаря большой разнице в вязкостях жидкость с низкой 50 вязкостью, идущая после вязкой жидкости, проникает в последнюю в форме "языков". Это создает каналы в проппанте, который заполняет трещину, и разделяет объем проппанта на отдельные кластеры, как изображено на Фиг.4. Для конкретного случая, показанного на Фиг.4, отношение вязкостей для двух жидкостей составило 80.

Как и предыдущий вариант осуществления изобретения, данный способ включает четвертую "завершающую" стадию, которая состоит в непрерывном закачивании проппанта существенно однородного размера, а с ним и укрепляющего материала и/или материала с удлинёнными частицами для того, чтобы усилить транспортные свойства жидкости гидроразрыва.

Все вышеописанные способы проведения операции гидроразрыва пласта с различными механизмами образования кластеров проппантов имеют общее достоинство - очень высокую гидравлическую проводимость трещины. Это достигается благодаря образованию крепких проппантных кластеров, распределённых по всей длине и высоте трещины ГРП. Кластеры достаточно стабильны, чтобы помешать полному смыканию трещины; каналы между кластерами получаются достаточно большими для свободного протекания по ним жидкости.

#### Формула изобретения

1. Способ гидравлического разрыва подземного пласта, включающий первую стадию, в процессе которой осуществляют закачивание в ствол скважины жидкости гидроразрыва, содержащей загуститель с образованием трещины в пласте, и вторую стадию, в процессе которой периодически добавляют проппант в жидкость гидроразрыва с последующей подачей проппанта в созданную трещину с образованием кластеров проппанта в трещине, препятствующих смыканию трещины и создающих каналы для протекания жидкости между кластерами,

причем в процессе второй стадии постоянно или только во время закачивания проппанта дополнительно вводят в жидкость гидроразрыва укрепляющий и/или консолидирующий материал, увеличивающие прочность кластеров проппанта, образованных в трещине гидроразрыва, причем закачивают объем жидкости с проппантом меньший, чем объем жидкости без проппанта, с образованием кластеров проппанта меньшего размера с большими размерами каналов между ними для прохождения пластового флюида,

а укрепляющий и/или консолидирующий материал представляет собой волокна с клейким покрытием, защищенным слоем неклеякого вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва при прохождении материала по трещине.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что указные волокна представляют собой органические или неорганические волокна.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что укрепляющий и/или консолидирующий материал дополнительно включает органические или неорганические волокна с единственным клейким покрытием, металлические частицы сферической или удлинённой формы, пластины из органического или неорганического вещества с отношением по меньшей мере двух из трех размеров больше чем 5 : 1.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, при осуществлении второй стадии дополнительно вводят в жидкость гидроразрыва агент, повышающий транспортирующую способность жидкости.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что в качестве указанного агента используют материал, содержащий удлинённые частицы, у которых отношение по меньшей мере двух из трех размеров больше чем 5 : 1.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что материал, содержащий удлинённые частицы, вводят в жидкость гидроразрыва в промежутках между введением проппанта или непрерывно в процессе второй стадии.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что материал представляет собой волокна,



выполненные из природных или искусственных органических материалов, стекла, керамики, углерода, металла.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что волокна выполнены на основе полимолочной кислоты, полигликолевой кислоты, полиэтилтерфталата, сополимеров указанных соединений или поливинилового спирта.

9. Способ по п.7, отличающийся тем, что волокна покрыты материалом или выполнены из материала, который становится клейким при температуре породы.

10. Способ по п.7, отличающийся тем, что волокна выполнены из клейкого материала, который покрыт неклеящим веществом, растворяющимся в жидкости гидроразрыва при прохождении волокон по трещине.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что весовая концентрация указанных волокон в жидкости гидроразрыва составляет 0,1-10%.

12. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанные волокна имеют длину более чем 2 мм и диаметр 3-200 мкм.

13. Способ по п.1, отличающийся тем, что проппант состоит из смеси групп частиц проппанта, имеющих разный диаметр, причем соотношение диаметров частиц проппанта в каждой группе и количество частиц проппанта в каждой группе выбирают так, чтобы минимизировать пористость получаемых кластеров или островков проппанта.

14. Способ по п.1, отличающийся тем, что частицы проппанта имеют либо смоляное или клейкое покрытие; либо смоляное или клейкое покрытие, сверху защищенное слоем неклеящего вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва по мере прохождения частиц по трещине.

15. Способ по п.1, отличающийся тем, что применяют третью стадию, которая заключается в непрерывном введении в жидкость гидроразрыва проппанта с однородными по размеру частицами.

16. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно применяют третью стадию, при осуществлении которой непрерывно вводят в жидкость гидроразрыва укрепляющий материал и/или консолидирующий материал.

17. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно применяют третью стадию, при осуществлении которой непрерывно вводят в жидкость гидроразрыва материал, представляющий собой удлиненные частицы, повышающие транспортирующие возможности жидкости по переносу проппанта.

18. Способ гидравлического разрыва подземного пласта, включающий первую стадию, в процессе которой в ствол скважины закачивают жидкость гидроразрыва, включающую загустители, улучшающие образования трещины в породе,

и вторую стадию, в процессе которой вводят проппант в закачиваемую жидкость гидроразрыва для предотвращения закрытия трещины, дополнительно осуществляют периодическое введение в жидкость гидроразрыва агента, способствующего образованию в созданной трещине кластеров из частиц проппанта и каналов для протекания пластового флюида, представляющего собой материал в виде отрезков волокон, которые в исходном состоянии свернуты в шарики, а при нагревании распрямляются или увеличиваются в объеме.

19. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют агент, формирующий кластеры проппанта, реагирующий с жидкостью гидроразрыва спустя некоторое время после его введения в жидкость гидроразрыва, при этом время введения в жидкость агента выбирают таким образом, чтобы запустить реакцию агента в различных местах созданной трещины, что приводит к формированию

кластеров проппанта в этих местах.

20. Способ по п.19, отличающийся тем, что момент срабатывания агента задают путем изменения химического состава агента, помещения агента в капсулы с полупроницаемыми мембранами или с пористой оболочкой с возможностью медленной диффузии сквозь оболочку, помещения агента в капсулы с оболочкой, которая разрушается в течение выбранного интервала времени путем растворения в жидкости гидроразрыва, или путем эрозии при столкновении между частицами или с поверхностью трещины, или путем разрушение капсул при смыкании стенок трещины.

21. Способ по п.19, отличающийся тем, что момент срабатывания агента задают путем изменения химического состава агента, помещения агента в гранулы из пористого материала, которые разрушаются в течение выбранного интервала времени из-за растворения в жидкости гидроразрыва, или из-за механического разрушения при столкновении гранул между собой или с поверхностью трещины, или из-за разрушения от нагрузок смыкания трещины, или из-за медленного вымывания реагента их гранул.

22. Способ по п.19, отличающийся тем, что агент выбирают из группы добавок, которые способны значительно изменить локальную вязкость жидкости гидроразрыва и скорость осаждения проппанта.

23. Способ по п.19, отличающийся тем, что в качестве агента используют разрушитель геля жидкости гидроразрыва, который реагирует в различных местах трещины.

24. Способ по п.23, отличающийся тем, что разрушитель геля добавляют в виде частиц с оболочкой, имеющей различную толщину, причем оболочка при растворении в жидкости гидроразрыва пропускает агент для реакции с жидкостью гидроразрыва в различных местах скважины.

25. Способ по п.23, отличающийся тем, что разрушитель геля выбирают из класса окислителей, способных реагировать с жидкостью гидроразрыва и разрушать полимерные цепи в жидкости гидроразрыва.

26. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно вводят катализатор в жидкость гидроразрыва для ускорения действия окислителя, уже растворенного или диспергированного в жидкости гидроразрыва.

27. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, которые способны разрушать места действия сшивающих агентов, занимать места действия сшивающих агентов, адсорбировать агенты сшивания в загущенной жидкости гидроразрыва.

28. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, покрытые оболочками различной толщины, способные растворяться в жидкости гидроразрыва и давать выход добавкам в различных местах трещины.

29. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, выбранные из группы, содержащей полимолочную или полигликолевую кислоты, поливиниловые спирты, сорбитол, глюконаты, фосфаты.

30. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, выбранные из класса взрывчатых или воспламеняющихся веществ, химически активных металлов, или иных реактивных материалов, которые создают эффект локального нагрева жидкости гидроразрыва, при этом добавки помещают в оболочки, которые разрушаются при попадании в трещину и освобождают содержимое в различных местах трещины.

31. Способ по п.19, отличающийся тем, что агент выбирают из группы добавок,

способных снижать подвижность частиц проппанта.

32. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, представляющие собой пучки волокон, защищенные оболочкой, или скрепленные между собой с использованием медленно разрушаемого наполнителя, который при растворении в жидкости гидроразрыва обеспечивает гидратацию и распределение отдельных волокон с повышением их эффективной концентрации в жидкости гидроразрыва.

33. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, выполненные из материалов, способных принимать изначальную форму при нагреве до определенной температуры.

34. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки, выполненные из материала с высокой абсорбирующей способностью.

35. Способ по п.34, отличающийся тем, что используют частицы материала с заблокированной способностью абсорбции путем применения временной оболочки, временной сшивки или временной химической обработки, причем блокировка действует до момента попадания частиц в нужное место в трещине, при этом абсорбент активируется после растворения задерживающего агента от температуры, от абразии материала или комбинации этих факторов.

36. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно используют добавки в виде гранул, волокон, пластинок, чья поверхность становится клейкой при температуре породы.

37. Способ по п.18, отличающийся тем, что используют добавки в виде гранул, волокон, пластинок с клейкой поверхностью, покрытые слоем неклеякого вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва.

38. Способ по п.19, отличающийся тем, что вторая стадия включает непрерывное введение материала в жидкость гидроразрыва, причем материал содержит удлиненные частицы, у которых длина намного превышает их диаметр, что повышает транспортные возможности такой жидкости.

39. Способ по п.38, отличающийся тем, что используют материал с удлиненными частицами, состоящий из природно-органических, искусственно-органических, стеклянных, керамических, углеродных, металлических волокон.

40. Способ по п.39, отличающийся тем, что используют волокна, выполненные на основе полимеров, способных в водной среде гидролизироваться до олигомеров или мономеров, при этом полимеры выбирают из группы, содержащей полимолочную кислоту, полигликолиновую кислоту, полиэтилтерфталат и их сополимеры.

41. Способ по п.39, отличающийся тем, что используют волокна, выполненные на основе полимеров, способных медленно растворяться, причем скорость растворения зависит от температуры.

42. Способ по п.39, отличающийся тем, что используют волокна, выполненные из или покрытые материалом, который при температуре породы становится клейким.

43. Способ по п.39, отличающийся тем, что используют волокна, выполненные из клейкого материала и покрытого неклеяким веществом, способным растворяться в жидкости гидроразрыва.

44. Способ по п.39, отличающийся тем, что используют концентрацию материала с удлиненными частицами в пределах 0,1-30% от веса жидкости.

45. Способ по п.39, отличающийся тем, что используют волокна, имеющие отношение длины к диаметру больше чем 5:1.

46. Способ по п.18, отличающийся тем, что при реализации второй стадии

дополнительно вводят укрепляющий и/или консолидирующий материал в жидкость гидроразрыва непрерывно или совместно с указанным агентом.

5 47. Способ по п.46, отличающийся тем, что используют укрепляющий материал, выбранный из группы, содержащей органические или неорганические волокна с  
однослойным покрытием или с клейким покрытием, защищенным слоем неклеякого  
вещества, растворимого в жидкости гидроразрыва при поступлении в трещину,  
металлические частицы сферической или удлинённой формы, пластины органического  
вещества, керамики, металла или металлических сплавов, причем отношение длины к  
10 ширине частиц укрепляющего материала больше чем 5:1.

48. Способ по п.46, отличающийся тем, что используют материал, представляющий  
собой смесь фракций, имеющих различные диаметры частиц, причем отношения  
диаметров из различных фракций частиц и относительное количество фракций  
выбирают таким образом, чтобы минимизировать результирующую пористость  
15 проппанта.

49. Способ по п.46, отличающийся тем, что используют частицы материала с  
клеякой оболочкой или с клейкой оболочкой и слоем неклеякого вещества,  
способного растворяться в жидкости гидроразрыва при прохождении частиц по  
20 трещине.

50. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно применяют третью  
стадию, во время которой осуществляют непрерывную подачу проппанта в жидкость  
гидроразрыва, причем проппант имеет частицы одинакового размера.

25 51. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют третью  
стадию, во время которой осуществляют непрерывную подачу укрепляющего  
материала в жидкость гидроразрыва.

52. Способ по п.19, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют третью  
стадию, во время которой осуществляют непрерывную подачу материала в жидкость  
30 гидроразрыва, причем материал содержит удлинённые частицы, которые повышают  
транспортную способность жидкости.

53. Способ гидравлического разрыва подземного пласта, включающий первую  
стадию, в процессе которой в ствол скважины закачивают жидкость гидроразрыва,  
содержащую загуститель для лучшего образования трещины в породе,  
35 и вторую стадию, в процессе которой непрерывно вводят проппант в закачиваемую  
жидкость гидроразрыва для предотвращения закрытия трещины,

причем на второй стадии дополнительно непрерывно вводят в жидкость  
гидроразрыва материал, представляющий собой волокна на основе полимеров,  
40 способных гидролизироваться до водорастворимых олигомеров или мономеров,  
синтезированных на основе полимолочной кислоты, полигликолевой кислоты,  
полиэтилентерефталата и их сополимеров,

третью стадию, в процессе которой закачивают дополнительную жидкость с  
вязкостью существенно меньше, чем вязкость жидкости гидроразрыва, при этом  
45 закачивание осуществляют таким образом, что менее вязкая жидкость проникает в  
вязкий гель в виде языков, которые разделяют проппант на отдельные кластеры с  
образованием между кластерами каналов, предназначенных для протекания  
пластового флюида.

50 54. Способ по п.53, отличающийся тем, что длина волокон превышает их диаметр в  
отношении более чем 5:1.

55. Способ по п.53, отличающийся тем, что на второй стадии дополнительно вводят  
стеклянные, керамические, углеродные или металлические волокна.

56. Способ по п.53, отличающийся тем, что на второй стадии дополнительно вводят растворимые волокна с растворимостью, зависящей от температуры.

57. Способ по п.53, отличающийся тем, что на второй стадии дополнительно вводят волокна, содержащие покрытие или выполненные из материала, приобретающего  
5 клейкие свойства при температуре породы.

58. Способ по п.53, отличающийся тем, что на второй стадии дополнительно вводят волокна, выполненные из материала, который является клейким, и покрытые  
10 неклеяким веществом, способным растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании волокон в трещину.

59. Способ по п.53, отличающийся тем, что используют весовую концентрацию материала в жидкости гидроразрыва в пределе 0,1-30%.

60. Способ по п.55, отличающийся тем, что длина дополнительно вводимых  
15 волокон превышает их диаметр в отношении более чем 5:1.

61. Способ по п.53, отличающийся тем, что при реализации второй стадии  
20 дополнительно вводят укрепляющий материал в жидкость гидроразрыва.

62. Способ по п.61, отличающийся тем, что используют укрепляющий материал,  
20 выбранный из группы, содержащей органические или неорганические волокна, имеющие клейкое покрытие или клейкое покрытие со слоем неклеякого покрытия, способное растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании в трещину, а также  
металлические частицы сферической или удлиненной формы, пластины из  
органического или неорганического вещества, керамики, металлов или сплавов с  
отношением двух из трех размеров больше чем 5 : 1.

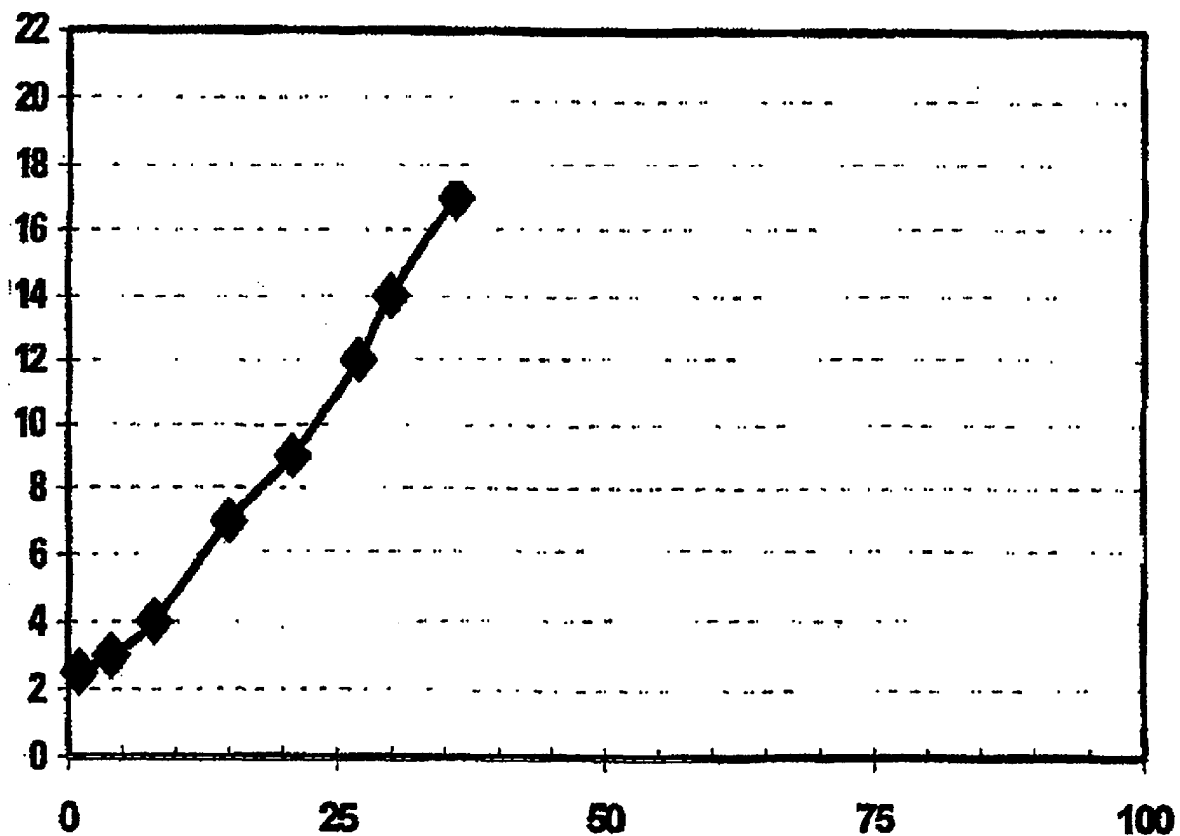
63. Способ по п.53, отличающийся тем, что используют проппант, состоящий из  
25 смеси фракций, имеющих различные диаметры частиц, причем отношения диаметров из различных фракций частиц и относительное количество фракций выбирают таким образом, чтобы минимизировать результирующую пористость проппанта.

64. Способ по п.53, отличающийся тем, что используют частицы проппанта,  
30 имеющие клейкое покрытие или клейкое покрытие, защищенное дополнительным слоем неклеякого вещества, способного растворяться в жидкости гидроразрыва при попадании волокон в трещину.

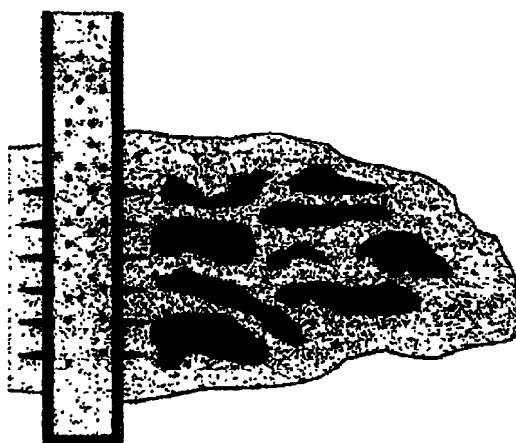
65. Способ по п.53, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют  
35 четвертую стадию, при реализации которой в жидкость гидроразрыва непрерывно подают проппант, причем частицы проппанта существенно однородны по размеру.

66. Способ по п.53, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют  
40 четвертую стадию, при реализации которой в жидкость гидроразрыва непрерывно подают укрепляющий материал.

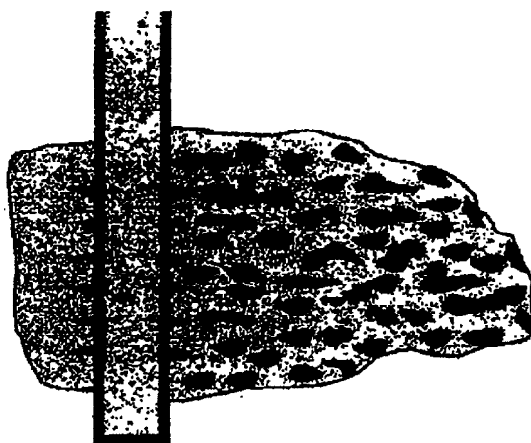
67. Способ по п.53, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют  
45 четвертую стадию, при реализации которой в жидкость гидроразрыва непрерывно подают материал с удлиненными частицами, которые увеличивают транспортную возможность жидкости гидроразрыва.



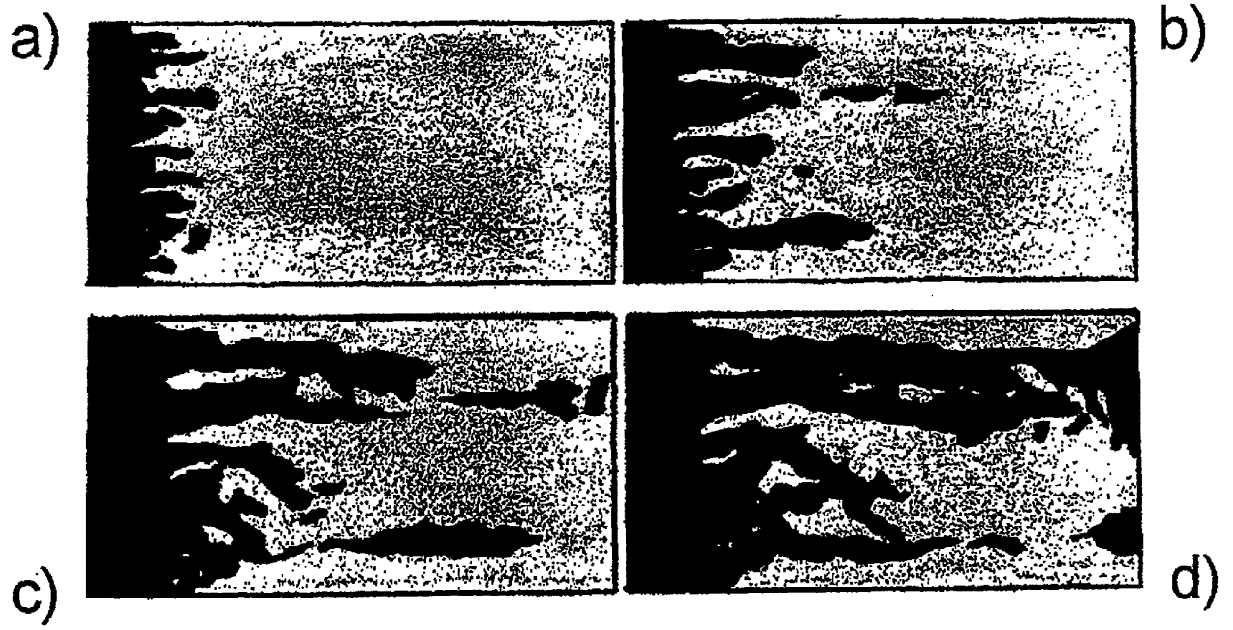
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



ФИГ. 4