

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035019**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.17

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

(21) Номер заявки
201591243

(22) Дата подачи заявки
2014.01.03

(54) **ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЙ РАСКЛИНИВАЮЩИЙ АГЕНТ И СПОСОБЫ
ОБНАРУЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО РАСКЛИНИВАЮЩЕГО АГЕНТА**

(31) **61/749,093**

(56) US-B2-8168570
US-B2-7424911
US-B2-7319330

(32) **2013.01.04**

(33) **US**

(43) **2016.02.29**

(86) **PCT/US2014/010228**

(87) **WO 2014/107608 2014.07.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**КАРБО КЕРАМИКС, ИНК.; САНДИЯ
КОРПОРЕЙШН (US)**

(72) Изобретатель:
**Каннан Чад, Бартель Льюис, Палиш
Тэрри, Олдридж Дэвид (US)**

(74) Представитель:
**Лыу Т.Н., Угрюмов В.М., Дементьев
В.Н., Глухарёва А.О., Карпенко О.Ю.,
Клюкин В.А., Строкова О.В., Захарова
Н.С., Христофоров А.А. (RU)**

(57) Описаны электропроводящие спеченные, по существу, круглые и сферические частицы и способы получения таких электропроводящих спеченных, по существу, круглых и сферических частиц из содержащего оксид алюминия сырьевого материала. Также описаны способы применения таких электропроводящих спеченных, по существу, круглых и сферических частиц в операциях гидравлического разрыва.

B1

035019

035019

B1

Заявление об участии государства

Настоящее изобретение создано на основании корпоративного соглашения по НИОКР (SC11/01780.00) между компанией CARBO Ceramics, Inc. и государственным подрядчиком министерства энергетики США Sandia National Laboratories. Часть прав на настоящее принадлежит правительству США.

Уровень техники

Варианты осуществления настоящего изобретения в целом относятся к гидравлическому разрыву геологических формаций, более точно к электромагнитным (ЭМ) способам обнаружения, определения местоположения и определения характеристик электропроводящих расклинивающих агентов, применяемых для стимуляции гидравлического разрыва газовых, нефтяных или геотермальных пластов. Описанные в изобретении способы предусматривают электрическое возбуждение толщи пород в месте разрыва или вблизи него на глубине разрыва и измерение характеристик электромагнитного поля на поверхности земли или в соседних скважинах/стволах скважин. Другие варианты осуществления настоящего изобретения относятся к композициям и способам формирования электропроводящих расклинивающих агентов для применения в электромагнитных способах обнаружения, определения местоположения и определения характеристик таких расклинивающих агентов.

С целью стимуляции и повышения эффективности добычи углеводородов из подземных формаций, в особенности малопористых и/или малопроницаемых формаций, широко применяется искусственный разрыв (называемый "операциями по гидроразрыву пласта", "гидравлическим разрывом" или просто "разрывом") нефтегазоносных формаций. Типичная операция гидроразрыва предусматривает нагнетание в скважину флюидов под высоким давлением, что вызывает образование трещин в толще пород вокруг ствола скважины и высокопроницаемых каналов, которые способствуют притоку углеводородов в ствол скважины. Эти операции по гидроразрыву пласта могут осуществляться в горизонтальных и наклонных, а также вертикальных стволах скважин и в интервалах необсаженных скважин или через перфорации обсаженных скважин.

Например, флюиды под высоким давлением выходят из ствола обсаженной вертикальной скважины через перфорации в обсадных колоннах и окружающий цемент и вызывают образование трещин в пласте, обычно тонких, в целом вертикальных пластинчатых трещин в глубоко залегающих пластах, в которых обычно содержится нефть и газ. Эти искусственные трещины в целом простираются на значительное расстояние по горизонтали от ствола скважины в окружающие пласты и по вертикали до не поддающегося разрыву пласта выше и/или ниже желаемого интервала гидроразрыва. Азимутальная ориентация искусственных разрывов определяется направлениями максимального и минимального горизонтального напряжения в пласте. Если флюид, иногда называемый суспензией, который нагнетают в скважину, не содержит твердых частиц, которые застревают в трещине при снижении давления флюида, обычно трещина снова смыкается, и большая часть увеличенной проницаемости теряется.

Эти твердые частицы, называемые расклинивающими агентами, обычно состоят из песчинок или керамических частиц, а флюид, используемый для их нагнетания в скважину, обычно имеет достаточную вязкость, чтобы удерживать частицы расклинивающего агента по мере его поступления по стволу скважины и в искусственные трещины. До образования трещин в пластах во флюид для гидроразрыва с желаемой временной задержкой также нагнетают материалы, называемые "понижителями вязкости" флюида для гидроразрыва, которые позволяют легко извлекать эти флюиды из трещин во время их образования, оставлять частицы расклинивающего агента в искусственных трещинах во избежание их смыкания и тем самым, по существу, предотвращать поток флюидов через них.

Расклинивающие агенты также могут доставляться в искусственные трещины маловязким флюидом в ходе операций гидроразрыва, известных как "гидроразрыв с использованием воды" или "гидроразрыв с использованием реагентов на водной основе". Флюидом для гидроразрыва с использованием воды является вода с небольшим количеством полимерных или других добавок или без них. Гидроразрыв с использованием воды выгоден за счет более низкой стоимости применяемого флюида. Кроме того, при использовании сшитых полимеров важно, чтобы понизители вязкости обладали эффективностью или чтобы флюид было невозможно извлечь из трещины, что эффективно ограничивает поток пластовых флюидов. При гидроразрыве с использованием воды не полагаются на эффективность понизителей вязкости, поскольку флюид не является сшитым.

Широко применяемые расклинивающие агенты включают природный песок, покрытый смолой песок и керамические расклинивающие агенты. Керамические расклинивающие агенты, которые обычно изготавливают из природных материалов, таких как каолин и бокситовые глины, обеспечивают ряд преимуществ по сравнению с песком или покрытым смолой песком в принципе за счет предела прочности при сжатии изделий из керамики и правильной сферической формы частиц.

Хотя искусственный разрыв является эффективным средством разработки коллекторов углеводородов, эффективность стимуляции, обеспечиваемая этим способом, в значительной степени зависит от способности создавать новые трещины или продлевать существующие трещины, а также от способности поддерживать связь с трещинами за счет соответствующего размещения расклинивающего агента. Без соответствующего расклинивающего агента трещины, создаваемые во время гидравлического разрыва,

могут иметь тенденцию смыкаться и тем самым уменьшать выгоды операций гидравлического разрыва. Тем не менее, не существует надежных способов обнаружения, определения местоположения и определения характеристик размещения расклинивающего агента в трещинах на относительно больших расстояниях от ствола скважины и тем самым подтверждения правильности такого размещения.

Недостатком современных методов идентификации расклинивающих агентов является относительно небольшое расстояние их обнаружения (максимально от 12 до 18 дюймов) от ствола скважины. Для обнаружения присутствия расклинивающего агента в области вблизи ствола скважины в настоящее время применяются радиоактивные и инертные индикаторы и расклинивающие агенты. Требуется лучшее понимание размещения расклинивающих агентов в дальних зонах гидроразрыва.

Накопленный опыт отображения массивных гидроразрывов суммирован в докладе Bartel, L.C., McCann, R.P. и Keck, L.J. "Use of potential gradients in massive hydraulic fracture mapping and characterization", подготовленном для 51-й ежегодной осенней технической конференции и выставки Общества инженеров-нефтяников (Новый Орлеан, 3-6 октября 1976 г., документ SPE 6090). Согласно документу измеряют на поверхности земли разность электрических потенциалов между двумя концентрическими окружностями электродов вокруг вертикальной скважины с гидроразрывом. Электрически возбуждают скважину через верх обсадных колонн или на глубине гидроразрыва. Устанавливают заземление в скважине, находящейся на расстоянии приблизительно одной мили от скважины с гидроразрывом. При этом не учитывается тот факт, что заземляющий провод действует как передающая антенна. Добавляют в воду для гидроразрыва хлорид калия (KCl) с целью повышения ее удельной электропроводности и расклинивают трещину с использованием непроводящего песка. Используют прямоугольную форму входного тока с частотой следования 1 Гц и измеряют только амплитуды разности напряжений. Для получения ожидаемых откликов используют напряжения согласно элементарной теории утечки тока из обсадных колонн и трещины в однородную земную толщу. Сравнение эксплуатационных данных с результатами элементарного моделирования позволяет делать вывод об ориентации трещины, но, поскольку в модели не учитываются подробности трещины, элементарная модель не позволяет определять другие свойства трещины.

В настоящее время не существует способа обнаружения, определения местоположения и определения характеристик местоположения расклинивающего агента при его помещении в гидроразрыв на расстояниях более нескольких дюймов от обсаженного ствола скважины. Был бы выгоден такой способ обнаружения, определения местоположения и определения характеристик материала расклинивающего агента после его помещения в трещину.

Краткое описание чертежей

Изобретение может быть лучше всего понято из следующего далее описания и сопровождающих его чертежей, иллюстрирующих варианты осуществления изобретения. На чертежах:

на фиг. 1 схематически проиллюстрирована система получения, по существу, круглых и сферических частиц из суспензии, как описано далее;

на фиг. 2 показана геометрическая схема вертикальной или наклонной скважины и представлены слои земной толщи с различными электрическими и механическими свойствами;

на фиг. 3 схематически показана установленная обсадная колонна в горизонтальном стволе скважины, проходящая через нефтегазоносную зону, с трещинами, заполненными расклинивающим агентом, и представлены слои земной толщи с различными электрическими и механическими свойствами;

на фиг. 4 схематически показано поперечное сечение системы отображения гидроразрывов, иллюстрирующей два варианта осуществления подачи электрического тока в ствол скважины, а именно возбуждение ствола скважины на поверхности и возбуждение посредством талевого каната с грузом-оттяжкой вблизи перфораций в стволе скважины;

на фиг. 5 схематически показан вид в плане системы отображения гидроразрывов;

на фиг. 6 схематически показан вид в перспективе системы отображения гидроразрывов;

на фиг. 7А схематически показано электроизолированное соединение обсадных колонн;

на фиг. 7Б схематически показана электрически изолированная муфта обсадной колонны;

на фиг. 8 схематически показана испытательная система измерения электрического сопротивления расклинивающего агента;

на фиг. 9 показан график зависимости удельного сопротивления (Ом-см) и давления смыкания трещины (фунты/кв. дюйм) для различных образцов расклинивающего агента;

на фиг. 10 показан график зависимости удельного сопротивления (Ом-см) и давления смыкания трещины (фунты/кв. дюйм) для смесей образцов CARBOLite 20/40 с покрытием из алюминия и стандартного EconoProp 20/40;

на фиг. 11 показан график зависимости удельного сопротивления (Ом-см) и давления смыкания трещины (фунты/кв. дюйм) для смесей образцов Hydroprop 40/80 с покрытием из алюминия и стандартного Hydroprop 40/80.

Подробное описание изобретения

В следующем далее описании приведено множество конкретных деталей. Тем не менее, подразуме-

вается, что варианты осуществления изобретения могут быть реализованы без этих конкретных подробностей. В других случаях подробно не показаны хорошо известные структуры и методы, чтобы не затруднять понимание описания.

В изобретении описаны электромагнитные (ЭМ) способы обнаружения, определения местоположения и определения характеристик электропроводящих расклинивающих агентов, применяемых для стимуляции гидравлического разрыва газовых, нефтяных или геотермальных пластов. Также описаны электропроводящие спеченные, по существу, круглые и сферические частицы и способы получения таких электропроводящих спеченных, по существу, круглых и сферических частиц из суспензии содержащего оксид алюминия сырья для применения в качестве расклинивающих агентов в электромагнитных способах. Используемым термином "по существу, круглые и сферические частицы" и его родственными формами обозначаются частицы, имеющие среднее соотношение минимального и максимального диаметров около 0,8 или более или имеющие средний показатель сферичности около 0,8 или более по шкале Krumbein и Sloss.

В вариантах осуществления настоящего изобретения электропроводящие спеченные, по существу, круглые и сферические частицы, именуемые далее "электропроводящим расклинивающим агентом", могут быть получены из традиционного расклинивающего агента, такого как керамический расклинивающий агент, песок, пластмассовые гранулы и стеклянные гранулы. Такие традиционные расклинивающие агенты могут изготавливаться любым применимым способом, включая без ограничения непрерывное распыление, псевдооживление распылением, сушка распылением или сжатие. Применимые традиционные расклинивающие агенты и способы их изготовления описаны в патентах US 4068718, 4427068, 4440866, 5188175 и 7036591, содержание которых целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку.

Свойства керамических расклинивающих агентов, такие как кажущаяся плотность, различаются за счет исходного сырья и способа изготовления. Используемым термином "кажущаяся плотность" обозначается вес частиц на единицу объема (в г/см^3), включая внутреннюю пористость. Расклинивающие агенты с низкой плотностью обычно имеют кажущуюся плотность менее $3,0 \text{ г/см}^3$ и обычно состоят из каолина и другого глинозема, окиси или силикатной керамики. Расклинивающие агенты с промежуточной плотностью обычно имеют кажущуюся плотность от около $3,1$ до $3,4 \text{ г/см}^3$ и обычно состоят из бокситовой глины. Высокопрочные расклинивающие агенты обычно состоят из бокситовых глин и глинозема и имеют кажущуюся плотность более $3,4 \text{ г/см}^3$.

В процессе получения любого из этих расклинивающих агентов может добавляться электропроводящий материал, такой как металл, проводящий полимер или проводящие наночастицы, в результате чего получают расклинивающий агент, применимый для использования согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения. Применимые металлы включают алюминий, медь и никель и могут добавляться с целью получения расклинивающего агента с содержанием металла от около 5 до около 10 вес.%.

Применимые проводящие полимеры включают поли(3,4-этилендиокситиофен) поли(стиролсульфонат) (PEDOT:PSS), полианилины (PANI) и полипирролы (PPY) и могут добавляться с целью получения расклинивающего агента с содержанием проводящего полимера от около 0,1 до около 10 вес.%. Применимые PEDOT:PSS, PANI и PYY предлагаются на рынке компанией Sigma-Aldrich. Некоторые конкретные варианты осуществления способа покрытия расклинивающего агента проводящим полимером описаны далее в примере 2.

Применимые проводящие наночастицы включают графит, углеродные нанотрубки с одинарными или двойными стенками или другой материал, который в форме наночастиц обладает достаточной удельной электропроводностью, позволяющей осуществлять обнаружение согласно настоящему изобретению. Такие проводящие наночастицы могут добавляться с целью получения расклинивающего агента с содержанием проводящих наночастиц от около 0,1 до около 10 вес.%.

Керамический расклинивающий агент также может изготавливаться таким образом, чтобы обеспечивать пористость его зерна. Один из способов изготовления применимого пористого керамического расклинивающего агента описан в патенте US 7036591, содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку. В этом случае пропитывают поры зерен расклинивающего агента электропроводящим материалом в концентрации от около 1 до 15 вес.%. Для покрытия этих частиц могут использоваться растворимые в воде покрытия, такие как полимолочная кислота, с целью обеспечения замедленного/отсроченного высвобождения проводящих наночастиц для обнаружения трещин на различных стадиях.

Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения расклинивающие агенты покрывают электропроводящим материалом. Покрытие может наноситься любым методом, хорошо известным специалистам в данной области техники, таким как разбрызгивание, распыление, вакуумное осаждение, покрытие погружением, экструзия, каландрирование, порошковое покрытие, переводное покрытие, покрытие воздушным раскелем, покрытие валиком и покрытие щеткой.

Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения вводят электропроводящий материал в полимерный материал и покрывают керамический расклинивающий агент или натуральный песок смолой, содержащим электропроводящий материал. Способы покрытия расклинивающих

агентов и натурального песка смолой хорошо известны специалистам в данной области техники. Например, применимый способ нанесения покрытия описан в патенте US 3929191 на имя Graham и др., содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку. Другой применимый способ, такой как описан в патенте US 3492147 на имя Young и др., содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку, предусматривает покрытие подложки в форме частиц жидкой композицией некатализованной смолы, отличающейся способностью экстрагировать катализатор или отвердитель из неводного раствора. Применимый способ нанесения покрытия погружением в расплав с использованием фенолформальдегидных новолачных смол также описан в патенте US 4585064 на имя Graham и др., содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку. Специалистам в данной области техники известны и другие применимые способы покрытия расклинивающих агентов и натурального песка смолой.

Как описано в изобретении, спеченные, по существу, круглые и сферические частицы получают из суспензии содержащего оксид алюминия сырьевого материала. В некоторых вариантах осуществления частицы имеют содержание оксида алюминия от около 40 до около 55 вес.%. В некоторых других вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы имеют содержание оксида алюминия от около 41,5 до около 49 вес.%.

В некоторых вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы имеют объемную плотность от около 1,35 до около 1,55 г/см³. Используемым термином "объемная плотность" обозначается вес на единицу объема, включая поровое пространство между частицами. В некоторых других вариантах осуществления частицы имеют объемную плотность от около 1,40 до около 1,50 г/см³.

В некоторых вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы имеют прочность на раздавливание при усилии 10000 фунтов/кв.дюйм от около 5 до около 8,5% и долговременную удельную проводимость флюида при усилии 10000 фунтов/кв.дюйм от около 2500 до около 3000 мД-фут. В некоторых других вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы имеют прочность на раздавливание при усилии 10000 фунтов/кв.дюйм от около 5 до около 7,5%.

В других вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы имеют кажущуюся плотность от около 2,50 до около 3,00. Используемым термином "кажущаяся плотность" (ASG) обозначается безразмерная единица, численно равная весу в граммах на кубический сантиметр объема, включая поровое пространство или открытую пористость, при определении объема.

В других вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы имеют размер от около 20 до около 40 меш.

В некоторых описанных вариантах осуществления спеченные, по существу, круглые и сферические частицы изготавливают непрерывно, а в других вариантах осуществления частицы изготавливают партиями.

Рассмотрим фиг. 1, на которой проиллюстрирован один из примеров системы реализации способа непрерывного изготовления спеченных, по существу, круглых и сферических частиц из суспензии. Конфигурация и действие системы согласно проиллюстрированному на фиг. 1 примеру аналогичны системе, описанной в патенте US 4440866, содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку. Операции, выполняемые системой согласно проиллюстрированному на фиг. 1 примеру, также могут использоваться для изготовления частиц партиями, как описано далее в примере 1.

В проиллюстрированной на фиг. 1 системе подают содержащий оксид алюминия сырьевой материал с содержанием оксида алюминия от около 40 до около 55 вес.% (в пересчете на кальцинирование) в измельчитель 105, который измельчает сырьевой материал на небольшие куски. Когда сырьевой материал в полученном виде (именуемый "необработанным" сырьевым материалом) имеет консистенцию, позволяющую перерабатывать его без измельчения, как описано далее, в некоторых вариантах осуществления измельчитель может не использоваться. Сырьевой материал, подаваемый в измельчитель, такой как показан на фиг. 1, именуется "обработанным" сырьевым материалом.

В некоторых вариантах осуществления измельчитель измельчает содержащий оксид алюминия сырьевой материал на куски диаметром менее около 5 дюймов, хотя куски меньшего и большего диаметров могут дополнительно перерабатываться в суспензию, как описано в изобретении. Специалистам в данной области техники хорошо известны измельчители и множество других устройств для резки, дробления или измельчения содержащего оксид алюминия сырьевого материала, а также их поставщики на рынок, такие как компания Gleason Foundry.

Обработанный и необработанный содержащий оксид алюминия сырьевой материал и воду подают в механическую мешалку 110, которая имеет вращающуюся лопасть, сообщающую усилие сдвига частицам сырьевого материала и дополнительно уменьшающую их размер, в результате чего образуется суспензия. В случае непрерывного процесса непрерывно подают сырьевой материал и воду в механическую мешалку. Специалистам в данной области техники хорошо известны механические мешалки и аналогичные устройства для получения суспензий из таких материалов, а также их поставщики на рынок.

В некоторых вариантах осуществления добавляют электропроводящий материал в механическую мешалку 110 с содержащим оксид алюминия сырьевым материалом и водой в концентрации от около 5

до около 10% по весу сухого вещества суспензии или непосредственно перед формированием гранул, как описано далее.

Добавляют в механическую мешалку 110 достаточное количество воды для получения суспензии с содержанием сухого вещества от около 40 до около 60 вес.%. В некоторых вариантах осуществления добавляют в суспензию достаточное количество воды, чтобы содержание сухого вещества в суспензии составляло от около 45 до около 55 вес.%. В других вариантах осуществления добавляют в суспензию достаточное количество воды, чтобы содержание сухого вещества в суспензии составляло около 50 вес.%. Водой, добавляемой в механическую мешалку 110, может являться пресная вода или деионизированная вода. В случае непрерывного процесса получения суспензии периодически анализируют содержание сухого вещества в суспензии и регулируют количество воды, подаваемой в суспензию, с целью поддержания желаемого содержания сухого вещества. Специалистам в данной области техники хорошо известны и понятны способы анализа содержания сухого вещества в суспензии и регулировки количества подаваемой воды.

В некоторых вариантах осуществления добавляют в механическую мешалку 110 с суспензией диспергатор с целью поддержания вязкости суспензии в целевом интервале, как дополнительно описано далее. В других вариантах осуществления поддерживают вязкость суспензии в механической мешалке 110 в целевом интервале путем добавления диспергатора и регулятора pH.

Диспергатор может добавляться в суспензию до добавления электропроводящего материала или других добавок. В некоторых вариантах осуществления композиция содержит диспергатор в количестве от около 0,15 до около 0,30 вес.% в пересчете на сухой вес содержащего оксид алюминия сырьевого материала.

Примеры материалов, применимых для использования в качестве диспергатора в описанных в изобретении композициях и способах, включают без ограничения полиакрилат натрия, полиакрилат аммония, полиметакрилат аммония, тетрапирофосфат натрия, тетрапирофосфат калия, полифосфат, полифосфат аммония, цитрат аммония, железистый цитрат аммония и полиэлектролиты, такие как композиция полиметакрилата аммония и воды, предлагаемая на рынке различными поставщиками, такими как Kemira Chemicals под торговым наименованием C-211, Phoenix Chemicals, Bulk Chemical Systems под торговым наименованием BCS 4020 и R.T. Vanderbilt Company, Inc. под торговым наименованием DARVAN C. В целом, диспергатором может являться любой материал, который поддерживает вязкость на целевом уровне, что позволяет затем подавать суспензию через одно или несколько напорных сопел псевдоожигителя. В некоторых вариантах осуществления целевая вязкость составляет менее 150 сПз (по данным вискозиметра Brookfield со шпинделем № 61). В других вариантах осуществления целевая вязкость составляет менее 100 сПз.

В вариантах осуществления, в которых используется регулятор pH, добавляют в суспензию достаточное количество регулятора pH для поддержания pH суспензии в интервале от около 8 до около 11. В некоторых вариантах осуществления добавляют в суспензию достаточное количество регулятора pH для поддержания pH суспензии около 9, около 9,5, около 10 или около 10,5. pH суспензии может периодически анализироваться pH-метром, а количество регулятора pH, подаваемого в суспензию, может регулироваться с целью поддержания желаемой pH. Специалистам в данной области техники известны способы анализа pH суспензии и регулировки подачи регулятора pH. Примеры материалов, применимых в качестве регулятора pH в описанных в изобретении композициях и способах, включают без ограничения аммиак и карбонат натрия.

В целом целевой вязкостью композиций является вязкость, при которой композиции могут проходить через напорное сопло псевдоожигителя заданного типа и размера, не застревая в нем. В целом чем ниже вязкость суспензии, тем легче она проходит через заданный псевдоожигитель. Тем не менее, при добавлении слишком большого количества диспергатора вязкость суспензии может повышаться настолько, что она не способна удовлетворительно проходить через заданный псевдоожигитель. Специалисты в данной области техники способны определять целевую вязкость для псевдоожигителей заданного типа путем стандартного экспериментирования.

Механическая мешалка 110 перемешивает содержащий оксид алюминия сырьевой материал, электропроводящий материал, воду, диспергатор и регулятор pH до образования суспензии. Количество времени, требуемое для образования суспензии, зависит от таких факторов как размер механической мешалки, скорость, с которой действует механическая мешалка, и количество материала в механической мешалке.

Суспензию из механической мешалки 110 подают в бак 115, в котором суспензия непрерывно перемешивается, и добавляют в нее связующее в количестве от около 0,2 до около 5,0 вес.% в пересчете на общий сухой вес содержащего оксид алюминия сырьевого материала и электропроводящего материала. В некоторых вариантах осуществления добавляют связующее в количестве от около 0,2 до около 3,0 вес.% в пересчете на общий сухой вес содержащего оксид алюминия сырьевого материала и электропроводящего материала. Применимые связующие включают без ограничения поливинилацетат, поливиниловый спирт (PVA), метилцеллюлозу, декстрин и мелассы. В некоторых вариантах осуществления связующим является PVA с молекулярной массой от около 20000 до 100000 Mn. "Mn" означает среднечисловую молеку-

лярную массу, которой является общая масса молекул полимера в образце, деленная на общее число молекул полимера в этом образце.

В баке 115 содержится суспензия, формируемая механической мешалкой 110. Тем не менее, суспензия перемешивается в баке 115 менее энергично, чем в механической мешалке, во избежание чрезмерного вспенивания суспензии при ее смешивании со связующим или повышения вязкости суспензии до такой степени, что она не сможет проходить через напорные сопла псевдоожижителя.

В другом варианте осуществления связующее может добавляться в суспензию при ее нахождении в механической мешалке. В этом варианте осуществления механическая мешалка необязательно имеет регулируемые скорости, включая высокую скорость для обеспечения высокоинтенсивного перемешивания с целью превращения сырьевого материала в форму суспензии и низкую скорость с целью перемешивания связующего с суспензией во избежание упомянутого чрезмерного вспенивания или повышения вязкости суспензии.

Как показано на фиг. 1, после добавления связующего суспензия перемешивается в баке 115 в течение определенного времени, достаточного для тщательного смешивания связующего с суспензией. В некоторых вариантах осуществления суспензия перемешивается в баке в течение до около 30 мин после добавления связующего. В других вариантах осуществления суспензия перемешивается в баке 115 в течение по меньшей мере около 30 мин. В других вариантах осуществления суспензия перемешивается в баке в течение более около 30 мин после добавления связующего.

Бак 115 также может представлять собой систему, состоящую из одного, двух, трех или более баков. Достаточно любой конфигурации или числа баков, обеспечивающего тщательное смешивание связующего с суспензией. В случае непрерывного процесса в суспензию в баке 115 добавляют воду и одно или несколько из следующего: пыль, частицы с размером больше номинального или частицы с размером меньше номинального из псевдоожижителя или другого устройства.

Суспензия из бака 115 поступает в теплообменник 120, в котором она нагревается до температуры от около 25 до около 90°C. Суспензия из теплообменника 120 поступает в насосную систему 125, которая подает суспензию под давлением в псевдоожижитель 130.

На одном или нескольких участках системы, проиллюстрированной на фиг. 1, до подачи суспензии в псевдоожижитель может быть предусмотрена дробилка(и) и/или просеивающая система(ы) (не показанная) для облегчения измельчения содержащего оксид алюминия сырьевого материала большего размера в частицы целевого размера, применимого для подачи в псевдоожижитель. В некоторых вариантах осуществления целевой размер составляет менее 230 меш. В других вариантах осуществления целевой размер составляет менее 325 меш, менее 270 меш, менее 200 меш или менее 170 меш. Целевой размер зависит от способности напорного сопла псевдоожижителя определенного типа и/или размера распылять суспензию без его засорения.

В случае применения системы измельчения в нее загружают абразивный материал, применимый для облегчения измельчения сырьевого материала в частицы целевого размера, применимого для подачи через одно или несколько напорных сопел псевдоожижителя. В случае применения просеивающей системы она рассчитана на удаление из суспензии частиц, размер которых превышает целевой размер. Например, просеивающая система может содержать одно или несколько сит, которые выбраны и размещены таким образом, чтобы пропускать частицы суспензии меньшего размера, чем целевой размер.

Как показано на фиг. 1, псевдоожижитель 130 имеет традиционную конструкцию, такую как описана, например, в патенте US 3533829 и патенте UK 1401303. Псевдоожижитель 130 содержит по меньшей мере один распылитель 132 (на фиг. 1 показаны три распылителя 132), представляющий собой напорное сопло традиционной конструкции. В других вариантах осуществления может применяться одно или несколько двухжидкостных сопел. Конструкция таких сопел хорошо известна, например, из справочника "Spray Drying Handbook", K. Masters, издательство John Wiley and Sons, Нью-Йорк (1979 г.).

Псевдоожижитель 130 дополнительно содержит слой 134 частиц, который опирается на пластину 136, такую как перфорированная, прямая или наклонная пластина. Через пластину 136 протекает горячий воздух. Слой 134 частиц содержит затравочные частицы, из которых могут выращиваться зеленые окатыши целевого размера. Используемым термином "зеленые окатыши" и его родственными формами обозначаются полученные из суспензии, но не спеченные, по существу, круглые и сферические частицы. При использовании перфорированной или прямой пластины затравочные частицы также служат для обеспечения пробкового режима потока в псевдоожижителе. Пробковый режим является термином, известным специалистам в данной области техники, и может быть в целом описан как режим потока с очень небольшим обратным смешиванием. Затравочные частицы имеют меньший размер, чем целевой размер зеленых окатышей, получаемых способами согласно настоящему изобретению. В некоторых вариантах осуществления на затравочные частицы приходится от около 5 до около 20% общего объема получаемых из них зеленых окатышей. Распыляют суспензию под давлением через распылители 132, покрывают распыленной суспензией затравочные частицы и получают, по существу, круглые и сферические зеленые окатыши.

До начала распыления суспензии в псевдоожижителе на перфорированную пластину 136 могут помещаться внешние затравочные частицы. При использовании внешних затравочных частиц они могут

быть получены способом, аналогичным проиллюстрированному на фиг. 1 способу, в котором просто отбирают из псевдоожигителя затравочные частицы целевого размера. Внешние затравочные частицы также могут быть получены путем высокоинтенсивного перемешивания, такого как описано в патенте US 4879181, содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку.

В некоторых вариантах осуществления внешние затравочные частицы получают из сырьевого материала по меньшей мере с таким же содержанием оксида алюминия, как в сырьевом материале, используемом для получения суспензии, или из сырьевого материала с большим или меньшим содержанием оксида алюминия, чем в сырьевом материале, используемом для получения суспензии. В некоторых вариантах осуществления суспензия имеет содержание оксида алюминия по меньшей мере на 10%, по меньшей мере на 20% или по меньшей мере на 30% меньше, чем затравочные частицы. В других вариантах осуществления внешние затравочные частицы имеют меньшее содержание оксида алюминия, чем суспензия, такое как по меньшей мере на 10%, по меньшей мере на 20% или по меньшей мере на 30% меньше, чем суспензия.

В качестве альтернативы, затравочные частицы для слоя частиц получают путем распыления суспензии и обеспечения тем самым "самозарождения" суспензии посредством собственной затравки. В одном из таких вариантов осуществления подают суспензию через псевдоожигитель 130 в отсутствие слоя 134 затравочных частиц. Мелкие капли суспензии, выходящие из сопел 132, затвердевают, но изначально имеют достаточно малый размер, чтобы уноситься из псевдоожигителя 130 потоком воздуха и улавливаться в качестве "пыли" (мелких частиц) пылеуловителем 145, которым может являться, в частности, электростатический осадитель, циклон, мешочный фильтр, мокрый пылеуловитель или их сочетание. Затем через впускное отверстие 162 подают пыль из пылеуловителя в слой 134 частиц, откуда ее распыляют вместе с суспензией, выходящей из сопел 132. Пыль может повторно использоваться достаточно число раз, пока ее частицы не увеличатся настолько, что станут слишком крупными для их уноса воздушным потоком и смогут использоваться в качестве затравки. Пыль также может повторно использоваться при осуществлении другой операции, например в баке 115.

Как показано на фиг. 1, подают горячий воздух в псевдоожигитель 130 посредством вентилятора и воздухонагревателя, которые схематически обозначены позицией 138. Скорость горячего воздуха, проходящего через слой 134 частиц, составляет от около 0,9 до около 1,5 м/с, а глубина слоя 134 частиц составляет от около 2 до около 60 см. Температура горячего воздуха, подаваемого в псевдоожигитель 130, составляет от около 250 до около 650°C. Температура горячего воздуха на выходе из псевдоожигителя 130 составляет менее около 250°C, а в некоторых варианты осуществления составляет менее около 100°C.

Расстояние между распылителями 132 и пластиной 136 оптимизировано во избежание образования пыли, которое происходит, когда сопла 132 расположены слишком далеко от пластины 126, и образования крупных частиц неправильной формы, которое происходит, когда сопла 132 расположены слишком близко к пластине 136. Положение сопел 132 относительно пластины 136 корректируется на основании анализа порошка, образцы которого отбираются из псевдоожигителя 130.

Зеленые окатыши, формируемые псевдоожигителем, накапливаются в слое 134 частиц. В случае непрерывного процесса зеленые окатыши, формируемые псевдоожигителем 130, извлекаются через впускное отверстие 140 в зависимости от уровня продукта в слое 134 частиц в псевдоожигителе 130 с тем, чтобы поддерживать заданную глубину слоя частиц. Поворотный клапан 150 перемещает зеленые окатыши, извлеченные из псевдоожигителя 130, до подъемника 155, который подает зеленые окатыши в просеивающую систему 160, где они разделяются на одну или несколько фракций, например крупную фракцию, фракцию продукта и мелкую фракцию.

Крупная фракция, выходящая из просеивающей установки 160, содержит зеленые окатыши, размер которых превышает желаемый размер продукта. В случае непрерывного процесса зеленые окатыши с размером больше номинального могут возвращаться в бак 115, где по меньшей мере часть зеленых окатышей с размером больше номинального может измельчаться и смешиваться с суспензией в баке. В качестве альтернативы зеленые окатыши с размером больше номинального могут измельчаться и возвращаться в слой 134 частиц в псевдоожигителе 130. Мелкая фракция, выходящая из просеивающей системы 160, содержит зеленые окатыши меньшего размера, чем желаемый размер продукта. В случае непрерывного процесса эти зеленые окатыши могут возвращаться в псевдоожигитель 130, откуда через впускное отверстие 162 они могут подаваться псевдоожигителю 130 в качестве затравочных частиц или вспомогательного сырья.

Фракция продукта, выходящая из просеивающей системы 160, содержит зеленые окатыши, имеющие желаемый размер продукта. Эти зеленые окатыши поступают в устройство 165 предварительного спекания, например кальцинатор, в котором зеленые окатыши сушат или кальцинируют до спекания. В некоторых вариантах осуществления зеленые окатыши сушат до содержания влаги менее около 18 вес.% или менее около 15, около 12, около 10, около 5 или около 1 вес.%.

После сушки и/или кальцинирования подают зеленые окатыши в устройство 170 спекания, в котором спекают зеленые окатыши в течение времени, достаточного для обеспечения получения спеченных, по существу, круглых и сферических частиц, имеющих одно или несколько из следующего: желаемую

кажущуюся плотность, объемную плотность и прочность на раздавливание. В качестве альтернативы устройство 165 предварительного спекания может быть исключено, если устройство 170 спекания способно обеспечивать достаточные условия кальцинирования и/или сушки (т.е. время и температуру сушки, при которых зеленые окатыши до спекания высушиваются до целевого содержания влаги) и затем достаточные условия спекания.

Конкретное время и температура спекания зависят от исходных ингредиентов и желаемой плотности спеченных частиц. В некоторых вариантах осуществления устройством 170 спекания является вращающаяся печь, действующая в течение от около 5 до около 90 мин при температуре от около 1000 до около 1600°C. В некоторых вариантах осуществления вращающаяся печь действует при температуре около 1000, около 1200, около 1300, около 1400 или около 1500°C. В некоторых вариантах осуществления время пребывания зеленых окатышей в устройстве спекания составляет от около 50 до около 70 мин или от около 30 до около 45 мин. После выхода частиц из устройства 170 спекания они могут дополнительно просеиваться по размеру и проверяться в целях контроля качества. Для ограничения или предотвращения окисления электропроводящего материала может применяться спекание в инертной атмосфере. Специалистам в данной области техники хорошо известны методы замещения обогащенной кислородом атмосферы в устройстве спекания инертным газом, таким как аргон, азот или гелий. Обычно кислород замещают инертным газом, в результате чего в среде спекания остается 0,005% или менее кислорода.

Описанные в изобретении электромагнитные способы предусматривают электрическое возбуждение земной толщи в месте трещины или вблизи нее на глубине и измерение электромагнитных откликов на поверхности земли или в соседних скважинах/стволах скважин. Описанные в изобретении электромагнитные способы обычно применяются в обсаженном стволе скважины, такой как скважина 20, показанная на фиг. 2. В частности, обсадная колонна 22 проходит внутри скважины 20, которая проходит в геологических формациях 24a-24i и имеет трехмерные составляющие.

На фиг. 3 показан вид с частичным разрезом эксплуатационной скважины 20, проходящей вертикально вниз через один или несколько слоев 24a-24i в геологическом разрезе и горизонтально через слой 24i. Хотя скважины традиционно являются вертикальными, описанные в изобретении электромагнитные способы не ограничены применением в вертикальных скважинах. Соответственно термины "вертикальный" и "горизонтальный" используются в общем смысле применительно к скважинам с различными ориентациями.

Подготовка эксплуатационной скважины 20 к гидравлическому разрыву обычно включает бурение ствола 26 желаемой глубины, а затем в некоторых случаях продление ствола 26 по горизонтали, чтобы ствол 26 имел вертикальные и горизонтальные составляющие любой желаемой степени. Осуществляют цементирование 28 обсадной колонны 22 в скважине 20, чтобы изолировать ствол 26 от слоев 24a-24i в геологическом разрезе, как показано на фиг. 3. Обсадная колонна 22 содержит множество перфораций 30. Хотя на фиг. 3 показано, что перфорации 30 выполнены на горизонтальном участке скважины 20, специалистам в данной области техники известно, что перфорации могут быть выполнены на любой желаемой глубине или расстоянии по горизонтали вдоль ствола 26, но обычно в месте нефтегазоносного интервала в одном или нескольких слоях 24a-24j в геологическом разрезе. Нефтегазоносный интервал может содержать нефть и/или газ, а также другие флюиды и материалы с флюидоподобными свойствами. Нефтегазоносный интервал 24a-24j в слоях в геологическом разрезе подвергают гидравлическому разрыву путем нагнетания флюида в обсадную колонну 22 через перфорации 30 с достаточной скоростью и давлением для создания трещин 32 и затем вводят во флюид электропроводящий расклинивающий агент, который расклинивает созданные трещины 32 после сброса гидравлического давления, используемого для создания трещин 32.

Созданные путем гидроразрыва трещины 32, показанные на фиг. 3, проходят в радиальном направлении от металлической обсадной колонны 22. Эта ориентация является типовой по своей природе. На практике созданные путем гидроразрыва искусственные трещины 32 могут проходить в радиальном направлении, как показано на фиг. 3, вбок или в промежуточном направлении. Различные ориентации являются типовыми и не имеют целью каким-либо образом ограничить описанные в изобретении электромагнитные способы.

В некоторых вариантах осуществления электромагнитного способа согласно настоящему изобретению, как схематически показано на фиг. 4, подают электрический ток вниз по стволу скважины 20 до точки возбуждения, которая обычно находится в пределах 10 м или более (выше или ниже) от перфораций 30 в обсадной колонне 22, по семижильному изолированному тросу 34, такому как хорошо известный специалистам в данной области техники и широко предлагаемый на рынке компаниями Camesa Wire, Rochester Wire and Cable, Inc., WireLine Works, Novametal Group и Quality Wireline & Cable, Inc. Груз-оттяжка 36, соединенный с тросом 34, соприкасается с обсадной колонной 22 или приближается к ним, после чего обсадная колонна 22 становится линией тока, которая генерирует подземные электромагнитные поля. Эти поля взаимодействуют с трещиной 32, содержащей электропроводящий расклинивающий агент, в результате чего генерируются вспомогательные электромагнитные поля, которые используются для обнаружения, определения местоположения и определения характеристик заполненной расклинивающим агентом трещины 32.

В некоторых вариантах осуществления электромагнитного способа согласно настоящему изобретению, как схематически показано на фиг. 4, с обсадной колонной 22 кабелем 42 соединен пульт 40 управления мощностью, и инъекция электрического тока в скважину 20 для гидроразрыва происходит непосредственно путем возбуждения обсадной колонны 22 в устье скважины. В одном из вариантов осуществления пульт 40 управления мощностью посредством приемопередатчика 43 соединен беспроводной связью с приемопередатчиком 39 на грузовом автомобиле 41 с оборудованием. Специалистам в данной области техники известно, что также могут использоваться другие применимые средства доставки тока до точки возбуждения.

Как схематически показано на фиг. 4-6, на поверхности земли находится множество датчиков 38 электромагнитного поля в форме прямоугольной или другой применимой матрицы, охватывающей область вокруг скважины 20 для гидроразрыва и над предполагаемой трещиной 32. В одном из вариантов осуществления датчики 38 соединены беспроводной связью с приемопередатчиком 39 на грузовом автомобиле 41 с оборудованием. Максимальный размер матрицы (апертуры) обычно должен составлять по меньшей мере 80% глубины зоны разрыва. Датчики 38 измеряют составляющие x , y и z откликов электромагнитных полей. Именно эти отклики используются для определения местоположения и определения характеристик электропроводящего расклинивающего агента путем сравнения с результатами численного моделирования и/или инверсии полученных данных с целью определения источника откликов. Отклики составляющих электромагнитного поля зависят от ориентации скважины 20 для гидроразрыва, ориентации трещины 32, удельной электропроводности, магнитной проницаемости и диэлектрической проницаемости слоев 24a-24j, удельной электропроводности, магнитной проницаемости и диэлектрической проницаемости заполненной расклинивающим агентом трещины 32 и объема заполненной расклинивающим агентом трещины 32. Кроме того, на регистрируемые отклики влияет удельная электропроводность, магнитная проницаемость и диэлектрическая проницаемость слоев в геологическом разрезе между поверхностью и целевыми слоями 24a-24j. На основании зарегистрированных откликов поля может быть подробно описана заполненная расклинивающим агентом трещина 32.

В другом варианте осуществления электромагнитные датчики могут находиться в соседней скважине/стволах скважин.

В зависимости от удельной проводимости земной толщи вокруг обсадной колонны 22 ток необязательно может являться равномерным по мере его обратного протекания на поверхность по обсадной колонне 22. В обоих вариантах осуществления, проиллюстрированных на фиг. 4, ток на протяжении ствола скважины 20 утекает по пути 50 и 52 и возвращается в заземление 54 в устье скважины. Как описано в патентной заявке US 13/206041, поданной 9 августа 2011 г., под названием "Simulating Current Flow Through a Well Casing and an Induced Fracture," содержание которой целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку, при анализе данных и численном моделировании обсадную колонну представляют как линию передачи с утечкой. Численные моделирования показывают, что в случае проводящей земной толщи (с удельной проводимостью более приблизительно 0,05 сименс на метр (См/м)), ток утекает в пласт, а при удельной проводимости менее приблизительно 0,05 См/м ток на протяжении обсадной колонны 22 является более и менее равномерным. Как показано на фиг. 7А и 7Б, с целью локализации тока в обсадной колонне 22 могут использоваться электроизолирующие соединения труб или трубные соединительные муфты. В варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 7А, изолирующий стык может быть создан путем покрытия сопряженных поверхностей 60 и 62 стыка материалом 64 с высокой диэлектрической прочностью, таким как любая из хорошо известных и предлагаемых на рынке пластмасс или полимерных материалов, обладающих высокой диэлектрической прочностью и свойствами жесткости и гибкости и рассчитанных на сцепление с поверхностями стыка, чтобы оставаться между ними. Как описано в патенте US 2940787, содержание которого целиком в порядке ссылки включено в настоящую заявку, такие пластмассы или полимерные материалы включают эпоксидные смолы, фенольные смолы, резиновые смеси, алкидные смолы и различные их сочетания. Дополнительные материалы включают полиэфиримид и модифицированный полифениленоксид. В варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 7Б, сопряженные концы 70 и 72 стыка соединены с электроизолированной муфтой 74 обсадной колонны. Представление линии передачи позволяет учитывать различные варианты установки обсадных колонн, такие как только вертикальная установка, установка в наклонных скважинах, установка вертикальных и горизонтальных секций обсадной колонны и наличие одной или нескольких изоляционных прокладок.

Обнаружение, определение местоположения и определение характеристик электропроводящего расклинивающего агента в трещине зависит от нескольких факторов, включая без ограничения результирующую удельную электропроводность трещины, объем трещины, удельную электропроводность, магнитную проницаемость и диэлектрическую проницаемость земной толщи вокруг трещины и между трещиной и установленными на поверхности датчиками. Результирующая удельная электропроводность трещины означает сочетание удельной электропроводности трещины, расклинивающего агента и флюидов, когда все перечисленное находится в земной толще, минус удельная электропроводность земной толщи в отсутствие трещины, расклинивающего агента и флюидов. Кроме того, общая удельная электропроводность заполненной расклинивающим агентом трещины является сочетанием удельной элек-

тропроводности, возникающей в результате создания трещины, плюс удельная электропроводность нового/модифицированного расклинивающего агента, плюс удельная электропроводность флюидов, плюс электрокинетический эффект перемещения флюидов через пористое тело, такое как расклинивающий агент. Объем чрезмерно упрощенной трещины плоской геометрической формы может определяться путем перемножения высоты, длины и ширины (т.е. зазора) трещины. Для численных моделирований может использоваться трехмерный (3D) конечно-разностный электромагнитный алгоритм решения уравнений Максвелла электромагнетизма. Чтобы электромагнитный отклик заполненной расклинивающим агентом трещины на глубине мог определяться на поверхности земли, результирующая удельная проводимость трещины, умноженная на объем трещины, в пределах одной вычислительной ячейки блока конечно-разностной (FD) сетки должна составлять более приблизительно 100 См^2 для модели сланцев Барнетта, в которой общий объем трещины составляет приблизительно 38 м^3 . Глубина трещины для модели сланцев Барнетта составляет 2000 м. Эти требования к численному моделированию могут быть применены к свойствам в промысловых условиях для формаций помимо сланцев Барнетта.

Распространение и/или диффузия электромагнитных (ЭМ) волновых полей через трехмерные (3D) геологические среды определяются уравнениями Максвелла электромагнетизма.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для анализа измеренных трехмерных составляющих откликов электромагнитного поля могут использоваться методы визуализации, такие как основанный на уравнениях Максвелла алгоритм инверсии и электромагнитный миграционный и/или голографический метод с целью определения местоположения расклинивающего агента. Инверсия полученных данных с целью определения местоположения расклинивающего агента предусматривает корректировку параметров модели геологической среды, включая без ограничения местоположение расклинивающего агента в трещине или трещинах и результирующую удельную электропроводность трещины, и получение наилучшего приближения к перспективным модельным расчетам откликов для модели предполагаемой геологической среды. Как описано в работе Bartel, L.C. "Integral wave-migration method applied to electromagnetic data", Sandia National Laboratories, 1994, в комплексном методе миграции электромагнитных волн используется теорема Гаусса, при этом с целью формирования изображения укладки расклинивающего агента данные, полученные над апертурой, проецируются на глубинные условия. Кроме того, как описано в работе Bartel, L.C., "Application of EM Holographic Methods to Borehole Vertical Electric Source Data to Map a Fuel Oil Spill", Sandia National Laboratories, 1993, электромагнитный голографический метод основан на сейсмическом голографическом методе с использованием конструктивной и деструктивной интерференции, при этом с целью формирования изображения укладки расклинивающего агента данные и форма волн источника проецируются на объем земной толщи. Из-за больших длин волн низкочастотных электромагнитных откликов в миграционных и голографических методах может требоваться преобразование данных в другую область, в которой волны имеют меньшую длину. Как описано у Lee, K.H. и др., "A new approach to modeling the electromagnetic response of conductive media", *Geophysics*, том 54, № 9 (1989), эту область называют областью q . Кроме того, как описано у Lee, K.H. и др., "Tomographic Imaging of Electrical Conductivity Using Low-Frequency Electromagnetic Fields", Lawrence Berkeley Lab, 1992, при осуществлении преобразования длина волн изменяется.

Помимо этого, уравнения Максвелла электромагнетизма в сочетании с определяющими зависимостями, свойственными не зависящим от времени изотропным средам, обеспечивают систему из шести связанных дифференциальных уравнений первого порядка в частных производных, именуемую системой "EH". Название системы происходит от содержащих в ней зависимых переменных, а именно электрического вектора E и магнитного вектора H . Коэффициентами в системе EH являются три свойства материала, а именно, удельная проводимость, магнитная проницаемость и диэлектрическая проницаемость. Все эти три параметра могут изменяться в зависимости от положения в трехмерном пространстве. Неоднородные члены системы EH отображают различные источники электромагнитных волн и включают источники тока проводимости, источники магнитной индукции и источники тока смещения. Источники тока проводимости, отображающие ток в проводах, тросах и обсадных колоннах ствола скважины, являются наиболее широко применяемыми источниками в экспериментах по сбору эксплуатационных электромагнитных данных.

С целью получения решения для трех составляющих электрического вектора E и трех составляющих магнитного вектора H системы EH в функциях положения и времени используется явный конечно-разностный (FD) численный метод представления во временной области. Требуется трехмерное представление параметров электромагнитной среды с привязкой к сетке, которое именуется "моделью геологической среды" и может конструироваться на основании доступных данных геофизических исследований в скважинах и геологической информации. В алгоритм также вводят величину, направление и форму волн источника тока. Форма волны может иметь форму импульсов (как у колоколообразного импульса) или повторяющуюся прямоугольную форму, содержащую участки как положительной, так и отрицательной полярности, но не ограничены этими двумя конкретными вариантами. При решении численного алгоритма генерируются электромагнитные отклики в форме временных рядов, регистрируемых в местоположениях приемников, распределенных по или внутри модели геологической среды с привязкой к сетке. Эти отклики отображают три составляющих вектора E или H или их производные по времени.

Множественное решение конечно-разностного численного алгоритма позволяет осуществлять количественную оценку величины и частотного спектра электромагнитных откликов (измеренных на поверхности земли или в соседних стволах скважин) по мере изменения важных параметров моделирования. Например, глубина источника тока может варьировать от малой до большой. Источник тока может находиться в определенной точке или может представлять собой протяженную линию передачи, как в случае электрически заряженных обсадных колонн ствола скважины. Форма волн источника может являться широкополосной или узкополосной с точки зрения частотного спектра. Наконец, в электромагнитную модель геологической среды могут вноситься изменения, возможно, с целью оценки экранирующего эффекта залегающих на небольшой глубине проводящих слоев. Задачей такого моделирования является оценка чувствительности регистрируемых электромагнитных данных к колебаниям соответствующих параметров. В свою очередь, эта информация используется для конструирования оптимальных геометрий сбора эксплуатационных данных с повышенным потенциалом визуализации заполненной расклинивающим агентом трещины на глубине.

Электромагнитные отклики могут масштабироваться с использованием величины входного тока. С целью получения откликов, превышающих фоновые электромагнитные помехи, может требоваться сильный ток порядка 10-100 А. Напряжение, требуемое для получения желаемого тока, определяется импедансом электрического кабеля до точки токового контакта и сопротивлением заземляющего контакта. Предполагается, что сопротивление контакта является небольшим и не имеет преобладающего влияния на требуемое напряжение. Кроме того, чтобы получить сигнал измеримого уровня относительно уровня помех, может быть необходимым суммировать множество повторно измеренных данных. В промышленных условиях и сценариях моделирования может использоваться форма волн источника тока во временной области. Типичная форма волн во временной области состоит из времени включения положительного тока, за которым следует время выключения, за которым следует время включения отрицательного тока. Иными словами, положительный ток, затем выключение, затем отрицательный ток, затем снова выключение. Используемая частота следования определяется тем, как долго должен быть включен ток до достижения установившегося состояния, или в качестве альтернативы как долго должен быть выключен ток возбуждения до затухания полей почти до нуля. В этом типовом способе измеренные отклики анализируются с использованием как установившихся значений, так и затухающих полей, следующих за отключением тока. Преимуществом анализа данных, когда ток возбуждения равен нулю (при затухающих полях) является то, что при этом исключается влияние первичного поля (отклик передающего проводника, т.е. обсадной колонны), и измеряются только отклики земной толщи. Кроме того, неактивный период входного сигнала во временной области позволяет анализировать электрические поля постоянного тока, которые могут возникать в результате электрокинетического эффекта, включая без ограничения текучие среды и расклинивающий агент в процессе гидроразрыва. Свойства трещин (ориентация, длина, объем, высота и асимметрия) определяются путем инверсии измеренных данных и/или голографического восстановления того участка земной толщи (трещины), на котором получены измеренные электрические отклики или вторичные поля. В некоторых вариантах осуществления проводятся исследования до гидроразрыва, чтобы выделить вторичные поля, образующиеся в результате гидроразрыва. Специалисты в данной области техники поймут, что также могут применяться другие методы анализа регистрируемых электромагнитных данных, такие как применение импульсной формы волн источника тока и инверсия полного сигнала наблюдаемых электромагнитных данных.

Были проведены эксперименты по сбору эксплуатационных данных с целью проверки представления линии передачи источника тока обсадных колонн. Вычисленное электрическое поле и измеренное электрическое поле хорошо согласовались. Это говорит о том, что представление линии передачи источника тока в трехмерном конечно-разностном электромагнитном коде дает точные результаты. Понимается, что согласованность зависит от точности модели, описывающей электромагнитные свойства земной толщи. В этом эксперименте по сбору эксплуатационных данных использовали обычные диаграммы электрического каротажа для определения электрических откликов земной толщи вокруг тестируемого ствола скважины и построения модели геологической среды.

Далее приведены следующие примеры, иллюстрирующие варианты осуществления настоящего изобретения. Специалисты в данной области техники учтут, что методы, описанные в этих примерах, являются лишь пояснительными, а не ограничивающими. В действительности специалисты в данной области техники в свете настоящего изобретения должны учесть, что в конкретные описанные варианты осуществления может быть внесено множество изменений с получением подобного или аналогичного результата, не выходящего за пределы сущности и объема изобретения.

Пример 1.

Покрыли традиционные керамические расклинивающие агенты с низкой и средней плотностью, предлагаемые на рынке компанией CARBO Ceramics, Inc. (Хьюстон, Техас, США) под торговыми наименованиями CARBOLite (CL) 20/40, HydroProp 40/80, CARBOProp 20/40 и CARBOProp 40/70, тонким слоем металлов путем магнетронного РЧ-распыления. Использовали для осаждения три целевых металла, а именно алюминий, медь и никель. Осуществили осаждение в распылительной камере с использованием высокочастотной мощности 200 Вт, давления осаждения 5 торр и аргонового фона (90 стандарт-

ных кубических сантиметров/мин). Распылительная камера имела три двухдюймовых шарнирно-сочлененных держателя, которые могут использоваться для покрытия изделий сложной формы. Система также имела вращающийся предметный столик с водяным охлаждением, который использовался в распылительной конфигурации. До покрытия расклинивающих агентов определили скорости осаждения трех металлов путем их распыления на кремниевые пластины и измерения толщины покрытия методом перекрестного анализа данных растровой электронной микроскопии (SEM) с помощью Zeiss Neon 40 SEM.

Поместили расклинивающие агенты в распылительную камеру на алюминиевый поддон диаметром 12 дюймов с боковыми стенками высотой 1 дюйм. Использовали приблизительно 130 г расклинивающего агента в каждой серии нанесения покрытия. Этого количества расклинивающего агента было достаточно для нанесения приблизительно одного слоя расклинивающего агента на основание поддона. "Перемешивали" расклинивающий агент во время осаждения с использованием тонкой металлической проволоки длиной 6 дюймов, подвешенной над поддоном и соприкасающейся с расклинивающим агентом на поддоне. Увеличили вдвое время нанесения покрытия по сравнению со временем, определенным на основании измерений толщины покрытия на кремниевые пластины, с целью приблизительного учета нанесения покрытия расклинивающих агентов с одной стороны, их перевертывания и затем нанесения покрытия с другой стороны. На расклинивающий агент каждого типа нанесли покрытия из каждого из трех металлов толщиной приблизительно 100 нм и приблизительно 500 нм.

После нанесения покрытия подвергли расклинивающий агент контролю методом визуального осмотра и оптической микроскопии. Полученные результаты показывают, что более тонкое покрытие толщиной приблизительно 100 нм являлось в целом неоднородным, а более толстое покрытие толщиной приблизительно 500 нм являлось однородным.

Пример 2.

Покрыли традиционные керамические расклинивающие агенты с низкой плотностью, предлагаемые на рынке компанией CARBO Ceramics, Inc. (Хьюстон, Техас, США) под торговыми наименованиями CARBOLite 20/40 и HydroProp 40/80, тонким слоем проводящего полимера с использованием планетарного настольного смесителя с плоской лопаткой типа "B" и нагревательной оболочкой. Использовали приблизительно 500 г расклинивающего агента в каждой серии нанесения покрытия. Получили покрытия, весовая доля которых составляла 0,1% по весу и 0,4% по весу расклинивающего агента, как показано далее в табл. 1.

Таблица 1

Проводящий полимер	Покрытие с весовой долей 0,1%	Покрытие с весовой долей 0,4%
PEDOT:PSS Получен от компании Sigma-Aldrich в виде 1,2% раствора в воде	42 г	167 г
PANI Получен от компании Sigma-Aldrich в виде 5% раствора изумрудного цвета в тетрагидрофуране (THF) с добавлением 4- додecilбензолсульфоновой кислоты в молярном соотношении 1:1	10 г	40 г
PPY Получен от компании Sigma-Aldrich в виде легированной 5% дисперсии в воде	10 г	40 г

В каждом случае нагревали расклинивающий агент в печи до температуры 150-200°C и добавляли в стальной смесительный бак. Добавили в нагретый расклинивающий агент активатор адгезии, такой как аминопропилтриэтоксисилан, являющийся аминифункциональным связующим агентом, и глицидилоксипропилтриметоксисилан, являющийся функциональным органосилановым связующим агентом, чтобы усилить связь между неорганической подложкой и органическим полимером. Поместили смесительный бак во внешнюю нагревательную оболочку, чтобы тепло оставалось в системе по мере введения добавок. Плоская лопатка типа "B" перемещалась вдоль поверхностей стенок смесительного бака по круговой орбите с промежуточной скоростью приблизительно 280 об/мин, при этом смесительный бак оставался неподвижным, за счет чего обеспечивалось полное смешивание за короткое время. Далее в табл. 2 показан типичный график загрузки партиями.

Таблица 2. График покрытия керамических расклинивающих агентов

Ингредиент	Время добавления
Подложка	0 с
Активатор адгезии	7 с
Проводящий полимер	15 с
Окончание цикла	5-10 мин

Кроме того, получили покрытия с весовой долей 0,1 и 0,4% путем добавления PEDOT:PSS в фенолформальдегидное покрытие (Novolac) с использованием планетарного смесителя с плоской лопаткой типа "В" и нагревательной оболочкой, как описано выше. Использовали приблизительно 500 г расклинивающего агента в каждой серии нанесения покрытия. С целью получения покрытий с весовой долей 0,1 и 0,4% по весу расклинивающего агента добавили приблизительно 42 г и 167 г PEDOT:PSS соответственно в 500 г расклинивающего агента и 20 г фенолформальдегидной смолы (Novolac), сшитой с гексаминном (13% гексамина на основе фенолформальдегидной смолы Novolac) с использованием и без использования упомянутых активаторов адгезии. Далее в табл. 3 показан типичный график загрузки партиями.

Таблица 3. График покрытия керамических расклинивающих агентов фенолформальдегидной смолой

Ингредиент	Время добавления
Подложка	0 с
Фенолформальдегидная смола	0 с
Активатор адгезии	7 с
Гексамин (сшивающий агент)	30 с
Проводящий полимер	1,5-2 мин
Окончание цикла	5-10 мин

После нанесения покрытия подвергли образцы расклинивающего агента контролю методом визуального осмотра и оптической микроскопии.

Пример 3.

Измерили удельную электропроводность образцов различных расклинивающих агентов, полученных по примерам 1 и 2, а также образцов расклинивающих агентов без покрытия с использованием испытательного устройства, показанного на фиг. 8. Как показано на фиг. 8, испытательная система 200 содержит изолирующую матрицу 202 из нитрида бора, которая имеет внутренний диаметр 0,5 дюйма, наружный диаметр 1,0 дюйм и помещается в канале 204 стальной матрицы 206, который имеет внутренний диаметр 1,0 дюйм. Закрыли верхний и нижний концы 212, 214 соответственно изолирующей матрицы 202 из нитрида бора верхним и нижним стальными плунжерами 208 и 210 с наружным диаметром 0,5 дюйма, в результате чего между передним концом 218 верхнего плунжера 208, передним концом 220 нижнего плунжера 210 и внутренней стенкой 222 матрицы 202 из нитрида бора образовалась камера 216. Извлекли верхний плунжер 208 из изолирующей матрицы 202 из нитрида бора и заполнили камеру 216 расклинивающим агентом, пока высота слоя 224 расклинивающего агента над передним концом 220 нижнего плунжера 210 не достигла около 1-2 см. Затем снова установили верхний плунжер 208 в изолирующую матрицу 202 из нитрида бора, чтобы передний конец 218 верхнего плунжера 208 соприкасался с расклинивающим агентом 224. Подсоединили к верхнему плунжеру 208 медный провод 226 и один полюс источника 228 тока и вольтметра 230. Подсоединили к нижнему плунжеру 210 второй медный провод и другой полюс источника 228 тока и вольтметра 230. Источником тока может являться любой применимый источник постоянного тока, хорошо известный специалистам в данной области техники, такой как измерительное устройство Keithley 237 источника высокого напряжения в режиме источника постоянного тока, а вольтметром может являться любой применимый вольтметр, хорошо известный специалистам в данной области техники, такой как универсальный измерительный прибор Fluke 175 True RMS, который может применяться в режиме милливольтметра для измерения напряжения постоянного тока некоторых образцов и в режиме омметра в случае образцов с более высоким сопротивлением.

Включили источник тока и затем определили сопротивление испытательной системы 200 со слоем 224 расклинивающего агента в камере 216. Затем с помощью универсального измерительного прибора измерили сопротивление расклинивающего агента 224 в зависимости от давления с использованием верхнего плунжера 108 и нижнего плунжера 110 в качестве электродов и для приложения давления к слою 224 расклинивающего агента. В частности сопротивление R равно V/I минус сопротивление системы за вычетом из измеренных величин касания плунжеров при нахождении в камере 226 слоя 224 расклинивающего агента, а удельное сопротивление $\rho = R \cdot A / t$, где A означает площадь, занимаемую слоем 224 расклинивающего агента, а t означает толщину слоя 224 расклинивающего агента между верхним

плунжером 108 и нижним плунжером 110.

Получили следующие результаты.

Осуществили электрические измерения базовых расклинивающих агентов без добавления проводящего материала при напряжении постоянного тока 100 В с использованием образцов, содержащих 50% по объему расклинивающего агента в воске, которые были спрессованы в диски с номинальным диаметром 1 дюйм и толщиной приблизительно 2 мм. Используя эти значения для расчета удельного сопротивления и измеренное удельное сопротивление чистого воска, экстраполировали приведенные далее значения путем построения графика зависимости кажущегося электрического удельного сопротивления по каротажной диаграмме от объемной доли расклинивающего агента и экстраполяции на объемную долю одного из расклинивающих агентов.

CarboProp 40/70: 2×10^{12} Ом-см

CarboProp 20/40: $0,6 \times 10^{12}$ Ом-см

CarboHydroProp: $1,8 \times 10^{12}$ Ом-см

CarboEconoProp: 9×10^{12} Ом-см.

Следует отметить, что измеренные образцы имеют очень высокое удельное сопротивление и неприменимы в целях настоящего изобретения.

Осуществили электрические измерения базовых расклинивающих агентов с покрытиями из алюминия толщиной 100 и 500 нм, полученными по примеру 1, и базовых расклинивающих агентов с покрытиями с весовой долей 0,1% или 0,4% из поли(3,4-этилендиокситиофена) (PEDOT) с использованием или без использования аминосилана. Полученные результаты представлены далее в табл. 4 и на фиг. 9.

Таблица 4

Описание	Удельное сопротивление (Ом-см)				
	0 фунтов/ кв. дюйм	1500 фунтов/ кв. дюйм	2500 фунтов/ кв. дюйм	3000 фунтов/ кв. дюйм	5000 фунтов/ кв. дюйм
Материал основы: без покрытия/ модификации	9×10^{12}	Не измерялось	Не измерялось	Не измерялось	Не измерялось
CL и 0,1% PEDOT	Не измерялось	1000-5000	1000-5000	1000 -5000	1000-5000
CL и 0,1% PEDOT/ аминосилан	Не измерялось	10000- 100000	10000- 50000	10000- 25000	Не измерялось
CL и 0,4% PEDOT	Не измерялось	1000-5000	1000-5000	1000-5000	1000-5000
CL и 0,4% PEDOT/ аминосилан	Не измерялось	5000-10000	~5000	~5000	Не измерялось
CL 100-нм покрытием из Al	Не измерялось	1000	1000	1000	Не измерялось
CL с 500-нм покрытием из Al	5-10	~0	0,1-0	0,1-0	0,1-0
CL с 500-нм покрытием из Al	Не измерялось	~0	0,27	Не измерялось	Не измерялось
HP 100-нм покрытием из Al	Не измерялось	>1000000	>1000000	>1000000	>1000000
HP с 500-нм покрытием из Al	Не измерялось	0-1	0,30	0-1	0-1

Как показано на фиг. 9, наилучшие результаты с точки зрения удельной проводимости получены при использовании CarboLite (CL) 20/40 и HydroProp (HP) 40/80 с покрытием из алюминия толщиной 500 нм.

Осуществили электрические измерения базовых расклинивающих агентов при различных процентных соотношениях таких базовых расклинивающих агентов с покрытиями из алюминия толщиной 500,

полученными по примеру 1. Полученные результаты представлены далее в табл. 5 и 6 и на фиг. 10-11.

В табл. 5 приведены данные для смесей CarboLite 20/40 с покрытием из алюминия толщиной 500 нм и CarboLite 20/40 без добавления проводящего материала. Поместили 3 г материала каждого образца из табл. 5 в 0,5-дюймовую матрицу площадью 0,196 кв.дюймов. В каждом испытании использовали ток 5 мА и проводили испытания при комнатной температуре.

Таблица 5

80% CarboLite с 500-нм покрытием из Al и 20% CarboLite 20/40				
Нагрузка (фунты)	Давление (фунты /кв. дюйм)	Напряжение (мВ)	Сопротивление (Ом)	Удельное сопротивление (Ом-см)
100	509	6,1	1,22	1,107
200	1019	5,6	1,12	1,016
300	1528	5,0	1,00	0,907
400	2037	4,7	0,94	0,853
500	2546	4,5	0,90	0,817
60% CarboLite с 500-нм покрытием из Al и 40% CarboLite 20/40				
Нагрузка (фунты)	Давление (фунты /кв. дюйм)	Напряжение (мВ)	Сопротивление (Ом)	Удельное сопротивление (Ом-см)
200	1019	20,0	4,00	3,630
300	1528	17,8	3,56	3,230
400	2037	17,0	3,40	3,085
500	2546	16,1	3,22	2,922
600	3056	15,8	3,16	2,867
40% CarboLite с 500-нм покрытием из Al и 60% CarboLite 20/40				
Нагрузка (фунты)	Давление (фунты /кв. дюйм)	Напряжение (мВ)	Сопротивление (Ом)	Удельное сопротивление (Ом-см)
100	509	253	50,60	46,516
200	1019	223	44,60	41,000
300	1528	218	43,60	40,080
400	2037	226	45,20	41,552
500	2546	221	44,20	40,632

В табл. 6 приведены данные для смесей HydroProp 40/80 с покрытием из алюминия толщиной 500 нм и HydroProp 40/80 без добавления проводящего материала. Поместили 3 г материала каждого образца из табл. 5 в 0,5-дюймовую матрицу площадью 0,196 кв.дюймов. В каждом испытании использовали ток 5 мА, и проводили испытания при комнатной температуре.

Таблица 6

80% HydroProp 40/80 с 500-нм покрытием из Al и 20% HydroProp 40/80				
Нагрузка (фунты)	Давление (фунты /кв. дюйм)	Напряжение (мВ)	Сопротивление (Ом)	Удельное сопротивление (Ом-см)
100	509	5,9	1,18	1,083
200	1019	5,3	1,06	0,973
300	1528	4,9	0,98	0,900
400	2037	4,6	0,92	0,845
500	2546	4,4	0,88	0,808
60% HydroProp 40/80 с 500-нм покрытием из Al и 40% HydroProp 40/80				
Нагрузка (фунты)	Давление (фунты /кв. дюйм)	Напряжение (мВ)	Сопротивление (Ом)	Удельное сопротивление (Ом-см)
200	1019	17,5	3,50	3,167
300	1528	15,6	3,12	2,823
400	2037	14,5	2,90	2,624
500	2546	13,8	2,76	2,497
40% HydroProp 40/80 с 500-нм покрытием из Al и 60% HydroProp 40/80				
Нагрузка (фунты)	Давление (фунты /кв. дюйм)	Напряжение (мВ)	Сопротивление (Ом)	Удельное сопротивление (Ом-см)
200	1019	550	110,00	99,532
300	1528	470	94,00	85,055
400	2037	406	81,20	73,473
500	2546	397	79,40	71,844

Как показано в табл. 5 и 6, а также на фиг. 10-11, удельное сопротивление укладок расклинивающего агента независимо от относительных количеств расклинивающего агента с покрытием или без покрытия имеет тенденцию снижаться с повышением давления смыкания трещины. Кроме того, удельное сопротивление укладок расклинивающего агента резко снижается с увеличением относительного количества расклинивающего агента без покрытия и уменьшением относительного количества расклинивающего агента с покрытием. Наконец, наименьшее удельное сопротивление достигается при использовании 100% расклинивающего агента с покрытием из алюминия. Ни одна смесь расклинивающих агентов с покрытием и без покрытия не обеспечивает меньшее удельное сопротивление, чем 100% расклинивающего агента с покрытием из алюминия.

Обращение с описанными частицами при их использовании в качестве расклинивающего агента может являться таким же, как с традиционными расклинивающими агентами. Например, частицы могут доставляться до места расположения скважины в мешках или россыпью вместе с остальными материалами, используемыми для операций гидравлического разрыва. Для помещения частиц в пласт в качестве расклинивающего агента может применяться традиционное оборудование и методы. Например, смешивают частицы с флюидом для гидроразрыва, который затем нагнетают в трещину в пласте.

В одном из типовых способов гидроразрыва подземного пласта нагнетают в пласт флюид для гидроразрыва со скоростью и под давлением, достаточными для формирования в нем трещины, и нагнетают в трещину флюид, содержащий спеченные, по существу, круглые и сферические частицы, полученные из суспензии, как описано в изобретении, и обладающие одним или несколькими описанными в изобретении свойствами, чтобы расклинить сформированную трещину.

Приведенное описание и варианты осуществления имеют целью проиллюстрировать изобретения без его ограничения. Подразумевается, что в изобретение могут быть внесены различные изменения, не выходящие за пределы его сущности и объема.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения местоположения расклинивающего агента, используемого для гидроразрыва подземного пласта, включающий

электрическое возбуждение обсадной колонны ствола скважины, которая проходит от поверхности земной толщи в подземный пласт, имеющий гидроразрыв, который, по меньшей мере частично, заполнен электропроводящим расклинивающим агентом;

измерение трехмерных составляющих (x , y и z) откликов электромагнитного поля на поверхности земли или в соседнем стволе скважины; и

определение местоположения электропроводящего расклинивающего агента путем сравнения откликов с результатами численного моделирования и/или инверсии откликов с целью определения источника откликов.

2. Способ по п.1, дополнительно включающий введение в трещину электропроводящего расклинивающего агента, где электропроводящий расклинивающий агент включает электропроводящие спеченные, по существу, круглые и сферические частицы.

3. Способ по п.2, дополнительно включающий перед нагнетанием электропроводящего расклинивающего агента в трещину нагнетание флюида для гидроразрыва в ствол скважины со скоростью и при давлении, достаточных для открытия трещины.

4. Способ по п.1, дополнительно включающий локализацию тока в обсадной колонне путем предоставления электроизолирующих соединений труб или трубных соединительных муфт для обсадной колонны.

5. Способ по п.1 в котором измерение трехмерных составляющих (x , y , и z) откликов электромагнитного поля осуществляется с использованием матрицы датчиков, распределенных на или около поверхности и, по меньшей мере частично, над трещиной.

6. Способ по п.5, дополнительно включающий осуществление процедуры моделирования для определения максимального размера для матрицы датчиков.

7. Способ по п.1, дополнительно включающий осуществление численных моделирований, решающих уравнения Максвелла электромагнетизма для электромагнитных полей до применения в промышленных условиях, чтобы определить временные характеристики оптимальной формы входного сигнала и геометрии матрицы регистрирующего датчика для применения в промышленных условиях, где численные моделирования основаны на модели геологической среды, определенной из геофизических исследований и геологической информации.

8. Способ определения местоположения расклинивающего агента, используемого для гидроразрыва подземного пласта, включающий

осуществление одного или более численных моделирований, решающих уравнения Максвелла электромагнетизма для электромагнитных полей, чтобы определить временные характеристики оптимальной формы входного сигнала, где численные моделирования основаны на модели геологической среды, полученной на основе геофизических исследований и/или геологической информации;

электрическое возбуждение обсадной колонны ствола скважины на месторождении, которая проходит от поверхности земной толщи в подземный пласт, имеющий трещину, которая, по меньшей мере частично, заполнена расклинивающим агентом и электропроводящим материалом;

измерение трехмерных составляющих (x , y и z) откликов электрического поля на поверхности или в соседнем стволе скважины; и

определение местоположения расклинивающего агента путем сравнения откликов электрического поля с результатами численного моделирования.

9. Способ по п.8, дополнительно включающий анализ трехмерных составляющих (x , y и z) методами визуализации, включая алгоритм инверсии на основании уравнений Максвелла для электромагнетизма и/или электромагнитную голографию, чтобы определить местоположение расклинивающего агента.

10. Способ по п.9, в котором алгоритм инверсии на основании уравнений Максвелла для электромагнетизма регулирует параметры модели геологической среды, включая местоположение расклинивающего агента внутри трещины и результирующую удельную электропроводность трещины.

11. Способ по п.9, в котором в электромагнитной голографии отклики электрического поля и форма волн источника проецируются на объем земной толщи для формирования изображения укладки расклинивающего агента с использованием конструктивной и деструктивной интерференций.

12. Способ по п.8, в котором волна прямоугольной формы во временной области используется в качестве входного сигнала для генерирования трехмерных откликов электрического поля.

13. Способ определения местоположения расклинивающего агента, используемого для гидроразрыва подземного пласта, включающий

осуществление одного или более численных моделирований, решающих уравнения Максвелла электромагнетизма для магнитных полей, чтобы определить временные характеристики оптимальной формы входного сигнала и геометрии матрицы регистрирующего датчика, где численные моделирования основаны на модели геологической среды, полученной на основе геофизических исследований и/или

геологической информации;

электрическое возбуждение обсадной колонны ствола скважины на месторождении, которая проходит от поверхности земной толщи в подземный пласт, имеющий трещину, которая, по меньшей мере частично, заполнена расклинивающим агентом и электропроводящим материалом;

измерение трехмерных составляющих (x, y и z) откликов магнитного поля на поверхности или в соседнем стволе скважины; и

определение местоположения расклинивающего агента путем сравнения откликов магнитного поля с результатами численного моделирования.

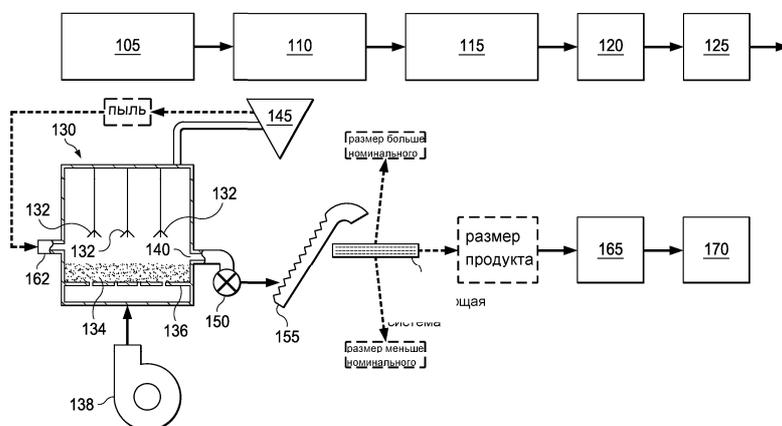
14. Способ по п.13, дополнительно включающий анализ трехмерных составляющих (x, y и z) методами визуализации, включая алгоритм инверсии на основании уравнений Максвелла для электромагнетизма и/или электромагнитную голографию, чтобы определить местоположение расклинивающего агента.

15. Способ по п.8, в котором электропроводящий материал представляет собой никель.

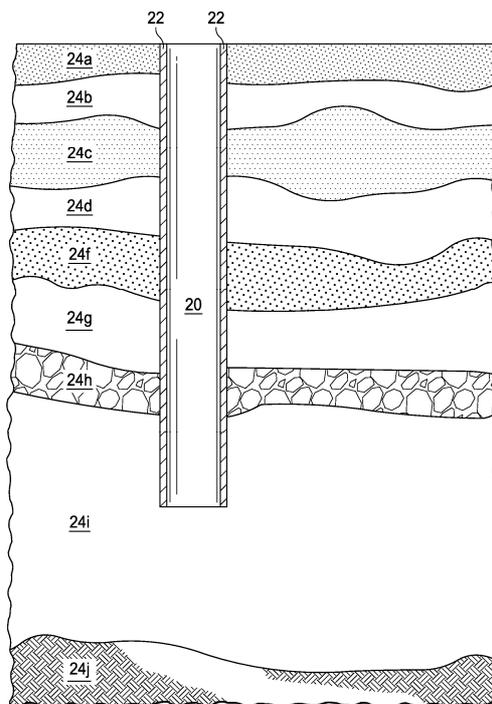
16. Способ по п.13, в котором электропроводящий материал представляет собой никель.

17. Способ по п.14, в котором в электромагнитной голографии отклики магнитного поля и форма волн источника проецируются на объем земной толщи для формирования изображения укладки расклинивающего агента с использованием конструктивной и деструктивной интерференций.

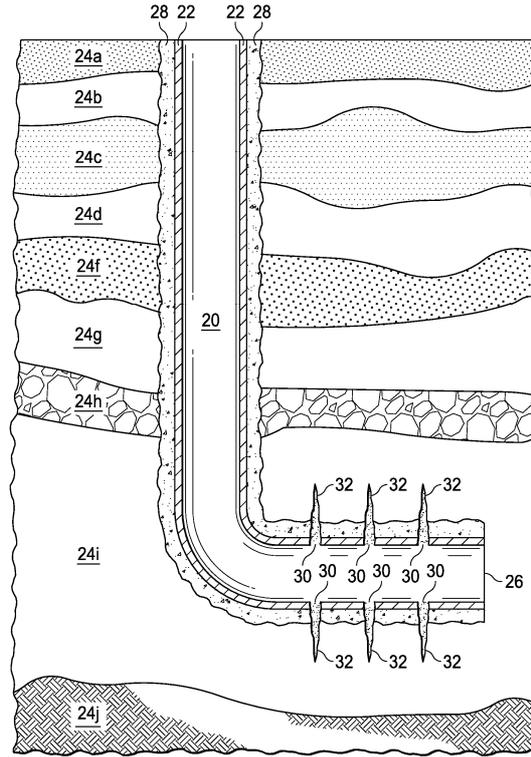
18. Способ по п.13, в котором волна прямоугольной формы во временной области используется в качестве входного сигнала для генерирования трехмерных откликов магнитного поля.



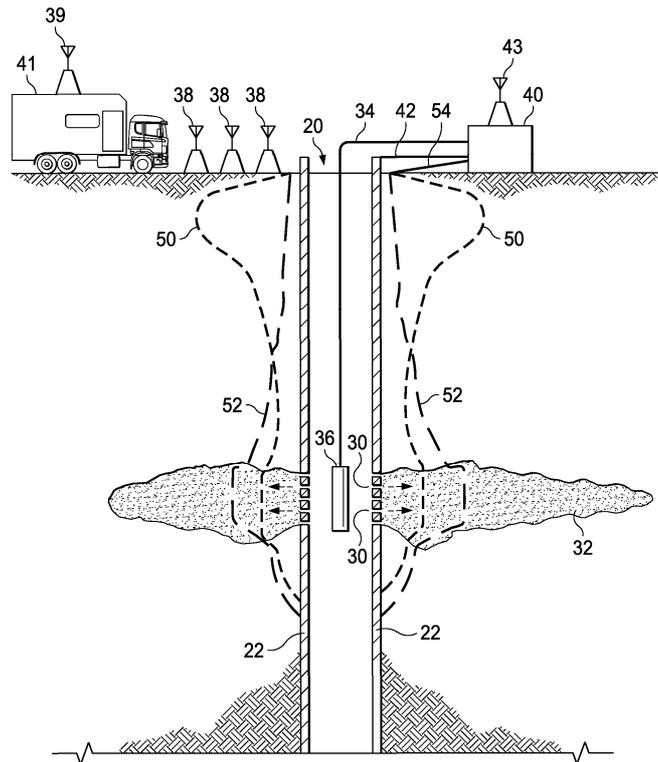
Фиг. 1



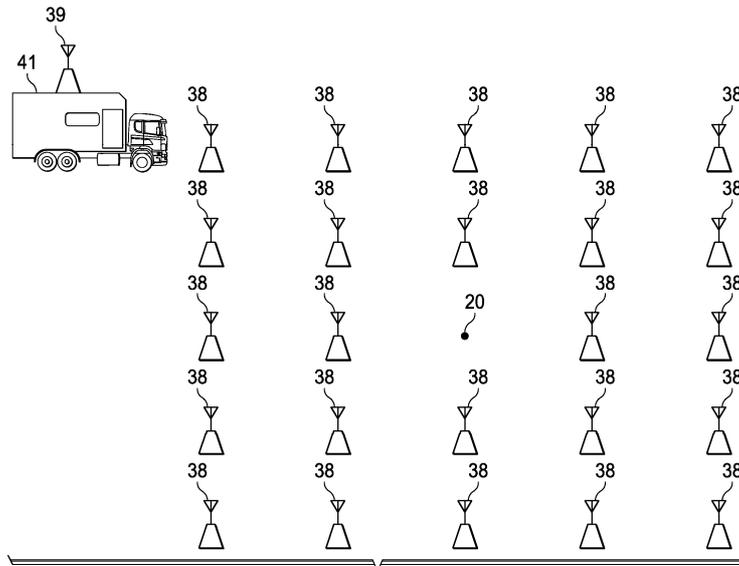
Фиг. 2



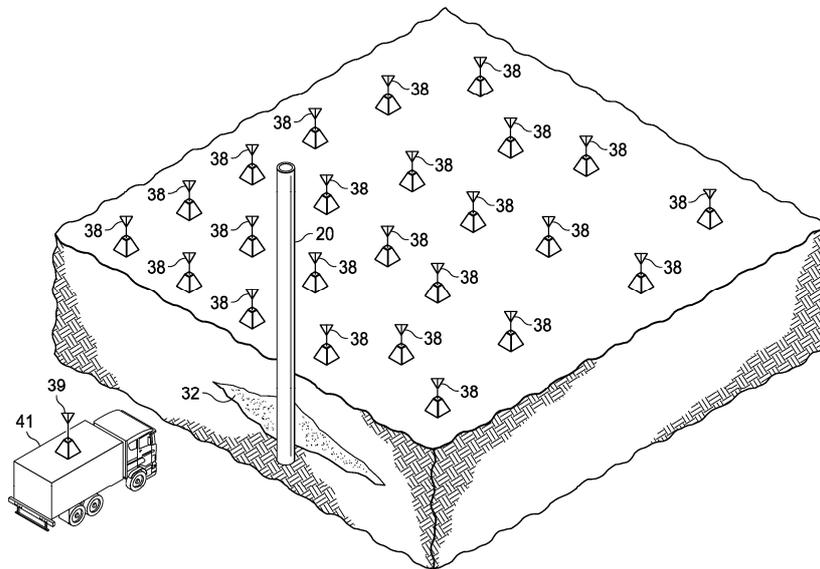
Фиг. 3



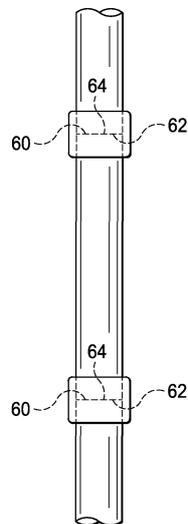
Фиг. 4



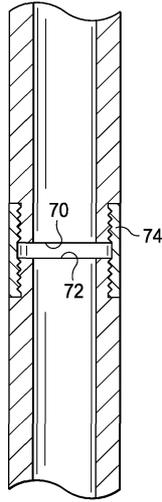
Фиг. 5



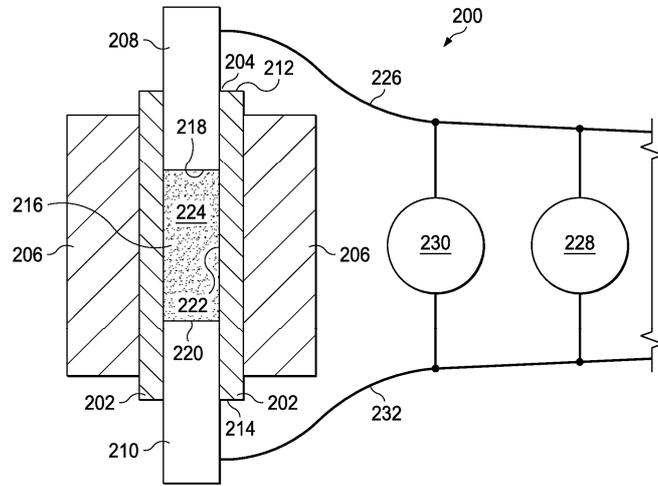
Фиг. 6



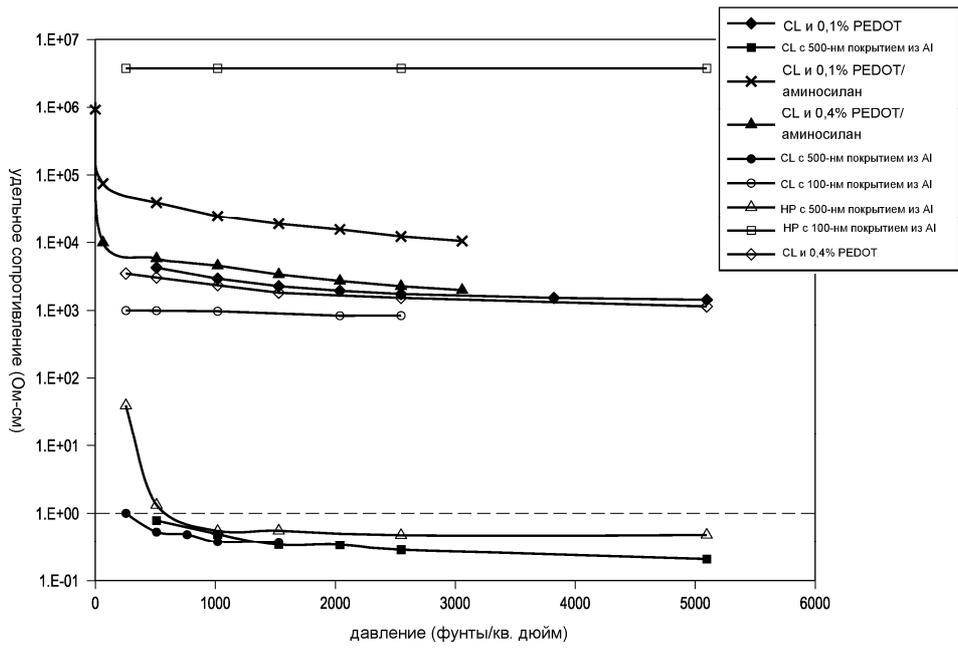
Фиг. 7А



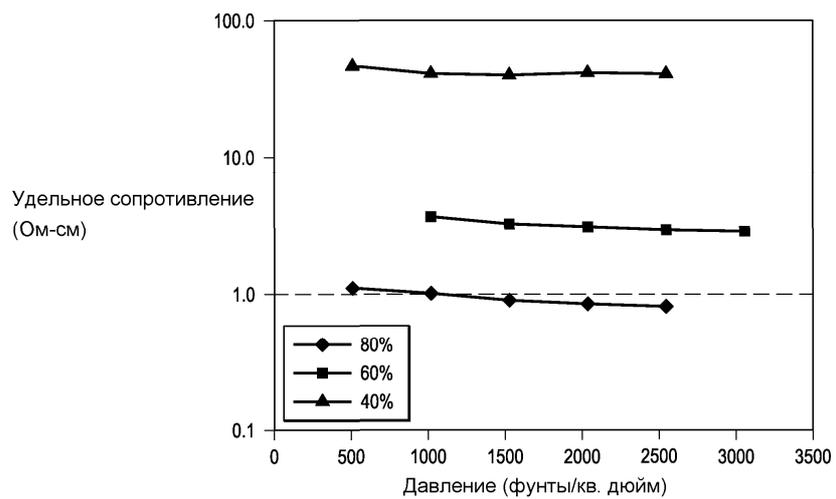
Фиг. 7Б



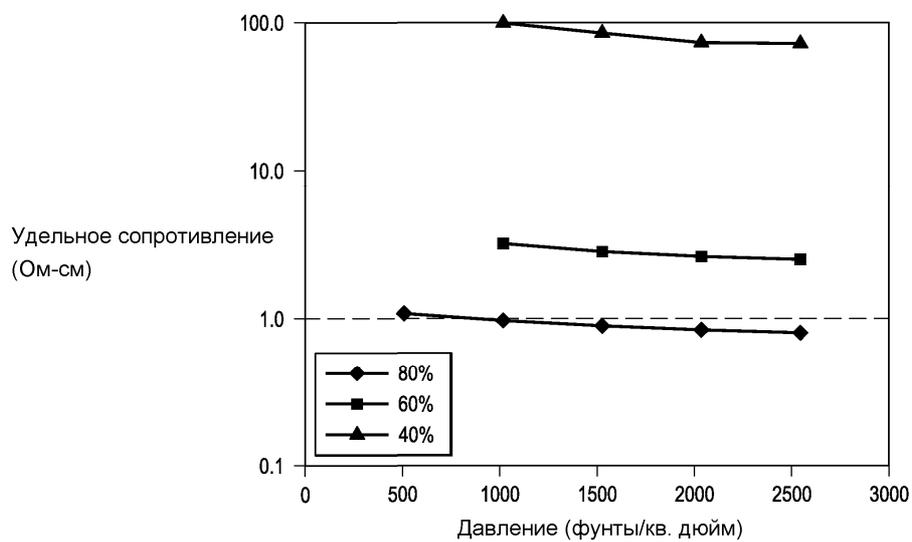
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

