

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035660**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.07.23**

(21) Номер заявки  
**201491108**

(22) Дата подачи заявки  
**2012.12.19**

(51) Int. Cl. **E21B 28/00** (2006.01)  
**E21B 43/00** (2006.01)  
**E21B 43/16** (2006.01)  
**E21B 43/25** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ ГЕНЕРИРОВАНИЯ УДАРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

---

(31) **РА 2011 70725; 11194897.2**

(32) **2011.12.19; 2011.12.21**

(33) **DK; EP**

(43) **2014.11.28**

(86) **PCT/EP2012/076145**

(87) **WO 2013/092710 2013.06.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ИМПАКТ ТЕКНОЛОДЖИ  
СИСТЕМЗ АС (NO)**

(72) Изобретатель:  
**Пеульсен Йим-Виктор (NO)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

(56) **WO-A1-2011157740  
RU-C1-2171354  
WO-A1-2008054256  
WO-A1-2010137991  
SU-A1-1710709**

(57) Описан способ добычи углеводорода из пластового резервуара. Способ включает стадии, в которых размещают камеру в сообщении по текучей среде с пластовым резервуаром по меньшей мере через один трубопровод, причем камера включает первую и вторую стеночные части, подвижные относительно друг друга. Создают ударное давление в текучей среде для распространения в пластовый резервуар через трубопровод, причем ударное давление генерируют процессом соударения между предметом, размещенным вне текучей среды, и первыми стеночными частями, чтобы первая стеночная часть наносила удар по текучей среде в камере. Кроме того, камеру размещают таким образом, чтобы избежать накопления газовых включений там, где первая стеночная часть ударяет по текучей среде. Это может быть достигнуто размещением трубопровода в зоне или рядом с зоной, где газовые включения естественным образом собираются в зоне камеры под действием гравитационных сил, или размещением первой стеночной части, ударяющей по текучей среде, вне этой зоны. Кроме того, изобретение относится к системе для генерирования ударного давления, как упомянуто выше.

**B1**

**035660**

**035660**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Изобретение относится к способу и системе для операций добычи углеводородов, включающих генерирование ударного давления. Кроме того, изобретение относится к применению указанных способа или системы для извлечения углеводородных текучих сред из пористой среды в подземном пластовом резервуаре.

### **Уровень техники**

Операции добычи углеводородов в общем могут включать широкий круг процессов, предусматривающих применение и контроль операций регулирования течения флюидов для извлечения углеводорода из подземных пластов, в том числе, например, введение или нагнетание текучих сред в подземные пласты, таких как обрабатываемые текучие среды, уплотняющие текучие среды, или текучие среды для гидроразрыва пласта, операции по заводнению, бурильные работы, операции по очистке трубопроводов и стволов скважин и операции по цементированию в стволах скважин.

Подземные пластовые резервуары представляют собой пористые среды, включающие сеть поровых объемов, соединенных с поровыми каналами, имеющими различные диаметры и длины. Проводились обстоятельные исследования динамических характеристик нагнетания текучих сред в пластовые резервуары для вытеснения текучих сред в пористой структуре породы в резервуаре, чтобы добиться улучшенного извлечения углеводородов.

Пористая структура породы представляет собой твердую матрицу пористой среды. Упругие волны могут распространяться в твердой матрице, но не в текучей среде, поскольку упругость представляет собой свойство твердых тел, а не текучих сред. Упругость твердых тел и вязкость текучих сред представляют собой характеристики, которые определяют разницу между твердыми телами и текучими средами. Напряжения в упругих твердых телах пропорциональны деформации, тогда как напряжения в вязких текучих средах пропорциональны скорости изменения деформации.

Текучие среды в пластовом резервуаре будут (во время заводнения) испытывать капиллярное сопротивление, или давление, когда протекают через поровые каналы, вследствие поверхностного натяжения между текучими средами и условий смачивания стенок поровых каналов. Капиллярное сопротивление обуславливает создание предпочтительных протоков текучих сред в пористой среде (прорывов текучей среды), что значительно ограничивает извлечение углеводородов. Таким образом, капиллярное сопротивление ограничивает подвижность текучих сред в пластовом резервуаре.

Как оказалось, извлечение углеводородов увеличивалось после сейсмических событий, таких как землетрясения. Вызванное этим интенсивное динамическое возбуждение пласта, как представляется, повышает подвижность флюидной фазы в пористой среде. Как утверждалось, повышенная подвижность во время землетрясений обуславливается упругими волнами (в твердой матрице), распространяющимися через пластовый резервуар. Были проведены исследования методов сейсмической стимуляции, основанных на возбуждении упругих волн в пластовом резервуаре с применением искусственных источников сейсмических волн. Как правило, искусственные источники сейсмических волн должны быть размещены как можно ближе к пластовому резервуару, чтобы их действие было эффективным, и тем самым обычно располагаются в забойной зоне буровой скважины или вблизи нее. Такие инструменты для скважинной сейсмической стимуляции были описаны, например, в патентных документах RU 2171345, SU 1710709, или WO 2008/054256, которые раскрывают различные системы, где упругие волны в твердых телах генерируются соударениями грузов, падающих на наковальни, закрепленные в забое буровой скважины, и тем самым на пластовом резервуаре. Недостатки этих систем состоят в опасности раздробления структуры породы, а также в сложностях контролирования удара, и в ограниченной эффективности методов.

Также были разработаны и широко используются методы извлечения углеводородов, включающие динамические возбуждения, имитирующие сейсмические события, например, с использованием взрывчатых веществ и регулярных подрывов энергетических материалов в породе. Однако такие интенсивные возбуждения действием взрывчатых веществ, землетрясения и тому подобные, часто также считаются вызывающими нарушение структуры породы, которое может снижать извлечение углеводородов в течение длительного времени.

Другие способы добычи углеводородов включают напорно-импульсное воздействие чередованием периодов принудительного откачивания и/или нагнетания текучей среды в пласт. Применение импульсов давления описывали для повышения скоростей течения через пористую среду, но, однако, также сообщалось об увеличении опасности прорыва воды или образования языков из-за разности вязкостей в операциях нагнетания текучей среды.

Явление зависящего от времени давления, такое как резкое повышение давления, или гидравлический удар, главным образом описывалось и анализировалось в отношении его потенциально повреждающих или даже катастрофических воздействий, когда оно непреднамеренно возникает, например, в трубопроводных системах, или в отношении плотин или конструкций морских промыслов вследствие сляминга (гидродинамического удара морской воды) или перекачивания волн через платформы. Гидравлический удар часто может происходить, когда текучая среда в движении принудительно останавливается или внезапно изменяет направление течения, например, вследствие резкого перекрытия вентиля в трубопроводной системе. В трубопроводных системах гидравлический удар может приводить к пробле-

мам от шума и вибрации до разрыва и смятия трубы. Во избежание гидравлического удара трубопроводные системы наиболее часто оснащаются гидроаккумуляторами, байпасами и амортизаторами, или тому подобными.

Связанные с давлением явления еще одного типа (называемого здесь ударным давлением) проявляются в процессах соударения с использованием ударных динамических характеристик, которые создают возможность генерировать зависимое от времени ударное давление с большой амплитудой за очень короткий отрезок времени (продолжительность), сравнимый со временем контактирования при соударении.

В сравнении с продольной волной импульсы давления можно рассматривать как распространяющиеся через текучую среду подобно относительно резко выраженному фронту. Когда ударное давление сравнивают с импульсами давления, отмечают, что ударное давление имеет даже еще более резкий фронт, и перемещается подобно фронту ударной волны. Поэтому ударное давление проявляет некоторые из тех же важных характеристик, как импульсы давления, но оно оказывает значительно более разрушительное действие ввиду того, что имеет резкий фронт с высокой амплитудой давления и короткое время нарастания вследствие способа его генерирования. Кроме того, импульсы давления и ударное давление, как описываемые в этом документе, следует отличать от упругих волн, поскольку эти упомянутые первыми явления, связанные с давлением, распространяются в текучих средах, в отличие от упругих волн, которые распространяются в твердых материалах.

### **Сущность изобретения**

Поэтому цель вариантов осуществления изобретения состоит в преодолении или, по меньшей мере, сокращении некоторых или всех из вышеописанных недостатков известных способов проведения операций по добыче углеводородов путем создания методик для повышения коэффициента нефтеотдачи при извлечении углеводородов.

Дополнительная цель вариантов осуществления изобретения заключается в создании способа проведения операций по добыче углеводородов, который может обеспечить повышенную подвижность текучих сред внутри пористой среды.

Дополнительная цель вариантов осуществления изобретения состоит в создании альтернативных способов и систем для генерирования ударного давления, например, применимых в пределах области операций по добыче углеводородов, и применимых к текучим средам в подземных пластовых резервуарах или буровых скважинах.

Еще одной дополнительной целью вариантов осуществления изобретения является создание способа, который может быть относительно простым и недорогим для исполнения на существующих промыслах для добычи углеводородов, и тем не менее эффективным.

Цель вариантов осуществления изобретения состоит в создании естественных систем для генерирования ударных давлений в текучей среде с повышенной эффективностью и при снижении риска кавитационных явлений внутри системы.

В соответствии с изобретением это получено с помощью способа добычи углеводорода из пластового резервуара, включающего стадии, в которых размещают по меньшей мере одну частично заполненную текучей средой камеру в сообщении по текучей среде с пластовым резервуаром по меньшей мере через один трубопровод, причем камера включает первую и вторую стеночные части, подвижные относительно друг друга. Ударное давление создают в текучей среде для распространения в пластовый резервуар через трубопровод, причем ударное давление генерируют процессом соударения, включающим соударение между предметом, размещенным вне текучей среды, и первыми стеночными частями, в результате чего первая стеночная часть наносит удар по текучей среде в камере. Способ дополнительно включает стадии, в которых камеру размещают таким образом, чтобы избежать накопления газовых включений там, где первая стеночная часть ударяет по текучей среде, причем газовые включения естественным образом собираются в зоне камеры под действием гравитационных сил, путем размещения трубопровода в указанной зоне или рядом с ней, тем самым выводя газовые включения наружу из камеры, и/или путем размещения камеры так, что указанная первая стеночная часть, наносящая удар по текучей среде, размещена вне указанной зоны.

Благодаря размещению трубопровода вблизи зоны газовых включений газовые включения будут эффективно и быстро полностью или частично удаляться из камеры текучей средой, непрерывно или периодически в отношении процесса соударения. Любые газовые включения могут продолжать собираться в зоне, но их накопление предотвращается с помощью описываемого размещения трубопровода простым, но тем не менее эффективным путем. Благодаря размещению камеры таким образом, что первая стеночная часть, ударяющая по текучей среде, размещена вне зоны, достигается то, что удар наносится главным образом по текучей среде и не по любым присутствующим в камере газовым включениям или только незначительно по ним. Таким образом, получается способ, нечувствительный к присутствию газовых включений или созданию газовых включений в текучей среде, и система текучей среды не нуждается в тщательном вентилировании перед иницированием любого процесса создания ударного давления.

В результате процесса соударения энергия, а также количество движения от предмета преобразуются в ударное давление в текучей среде. Ударное давление перемещается и распространяется со скоро-

стью звука через текучую среду.

Генерирование ударного давления, создаваемого процессом соударения, может быть преимущественным вследствие получаемых при этом очень крутых или резких фронтов давления с высокой амплитудой, предельного короткого времени нарастания, по сравнению, например, с импульсами давления, получаемыми с помощью традиционной технологии напорно-импульсного воздействия. Кроме того, ударное давление, созданное процессом соударения, можно рассматривать как включающее повышенный высокочастотный компонент, сравнительно, например, с единичной частотой или одиночной синусоидальной волной давления.

Это может быть преимущественным в различных операциях добычи углеводородов, например, таких как при заводнении, нагнетании обрабатываемой текучей среды, или в процессах уплотнения, так как высокочастотный компонент можно рассматривать как повышающий подвижность текучей среды внутри пористой среды, где материалы с различными свойствами материалов и капельки с различными размерами могут тем или иным путем ограничивать или снижать подвижность текучих сред. Кроме того, это может быть преимущественным в предотвращении или сокращении опасности любой тенденции к закупориванию, и в поддержании пластового резервуара в превосходных условиях течения. Подобным образом, повышенная подвижность может быть преимущественной как в отношении операций нагнетания уплотняющих текучих сред, так и при последующей промывке скважины в операциях уплотнения.

Кроме того, ударное давление, создаваемое предлагаемым процессом соударения, может быть выгодно применено для очистки проточных каналов текучей среды или буровых скважин, обеспечивая улучшенную и более эффективную очистку поверхностей. Предлагаемый способ, например, может быть использован с моющей текучей средой, где система для создания ударного давления может быть встроена в нагнетательный трубопровод или в ствол скважины.

Кроме того, ударное давление, создаваемое предлагаемым процессом соударения, может быть выгодно применено для операций цементирования в стволах скважин. Здесь генерирование ударного давления в неотвержденном цементе может обуславливать сокращение миграции и поступления текучей среды или газа в цемент.

Применение ударного давления согласно вышеизложенному может быть еще более полезным в отношении операций с нагнетанием жидкостей для гидроразрыва пласта в подземные пластовые резервуары, где ударное давление может действовать для повышения эффективности создания трещин в подземном пластовом резервуаре, позволяющих углеводородам высвободиться и вытекать наружу.

Кроме того, предлагаемый способ согласно вышеизложенному может быть весьма полезным при бурильных работах, где ударное давление, созданное в процессе соударения, может повышать механическую скорость бурения, и действует так, что способствует продавливанию бурового долота через подземный пласт.

По сравнению с другими традиционными способами напорно-импульсного воздействия способ согласно настоящему изобретению является преимущественным в том, что ударное давление здесь может быть генерировано в непрерывном потоке текучей среды без значительного влияния на скорость течения. Кроме того, ударное давление может быть создано очень простым, но тем не менее эффективным путем, и без какого-то перекрытия или открывания вентилей и контрольного оборудования, как это делается согласно прототипу.

Кроме того, предлагаемым способом может быть получено то, что ударное давление может быть инициировано в текучей среде без повышения или только с малым увеличением скорости течения текучей среды, так как первая стеночная часть не перемещается и не нажимает на текучую среду, как при традиционном напорно-импульсном воздействии. Скорее ударное воздействие от движущегося предмета на первую стеночную часть во время соударения можно рассматривать как вызывающее лишь минимальное или ничтожное смещение стеночной части, главным образом соответствующее сжатию текучей среды в зоне удара. Поэтому желательную скорость течения текучей среды, например, в операции извлечения углеводорода, можно регулировать более точно с помощью, например, нагнетательных устройств, применяемых в операции, и можно в качестве одного примера поддерживать равномерной или почти равномерной на желательном уровне течения, независимо от создания ударного давления. Способ согласно вышеизложенному тем самым может быть преимущественным, например, в операциях нагнетания текучих сред и заводнения, где может быть желательной умеренная скорость течения текучей среды с минимальными флуктуациями указанной скорости течения, чтобы снизить опасность раннего прорыва текучей среды и образования языков из-за разности вязкостей в пласте. В отношении операций заводнения были проведены эксперименты в лабораторном масштабе, которые показали повышение коэффициента нефтеотдачи при извлечении углеводородов на 5-15% при применении ударного давления, создаваемого процессом соударения, по сравнению с течением под действием постоянного статического давления. Повышенный коэффициент нефтеотдачи был получен при неизменной скорости течения.

Текучая среда может включать одну или более из следующих групп: главным образом воду, уплотняющую текучую среду, обрабатывающую текучую среду, моющую текучую среду, буровой раствор, жидкость для гидроразрыва пласта или цемент. Текучая среда может включать один или более растворителей, частиц и/или газовых включений.

В системе текучей среды, включающей транспортирование текучей среды, текучая среда в некоторый момент почти неизбежно содержит включения газа, например в форме воздуха, захваченного в систему с самого начала. Кроме того, в текучей среде могут создаваться газовые пузырьки вследствие турбулентного течения, или вследствие процесса соударения первой стеночной части, ударяющей по текучей среде. Любые такие газовые включения естественным образом под действием гравитационных сил поднимаются и собираются в одной или более зонах камеры, где газовые включения уже не могут больше подниматься. Наиболее часто это происходит в самой верхней части камеры. Поскольку способ предусматривает размещение камеры таким образом, чтобы избежать накопления газовых включений, где первая стеночная часть ударяет по текучей среде, получается, что удар выполняется по текучей среде, и не по газовым включениям или только минимально по ним. Таким образом, сокращается смещение первой стеночной части, поскольку сжимаемость текучей среды является значительно более низкой, чем у газовых включений.

Поэтому сокращение или предотвращение накопления газовых включений вблизи области ударного воздействия ведет к ударному давлению с более высокой амплитудой, более короткому времени нарастания и к более короткому времени контактирования, благодаря лучшей передаче энергии ударяющего предмета текучей среде.

Кроме того, в результате сокращения или предотвращения накопления газовых включений вблизи области ударного воздействия сокращается опасность кавитационных явлений в текучей среде, что часто ведет к износу и повреждению системы текучей среды. Это достигается тем, что энергия удара главным образом преобразуется в ударное давление в текучей среде, но не передается газовым включениям.

Поскольку предмет для столкновения с первой стеночной частью размещают вне текучей среды, может быть достигнуто то, что большая часть количества движения, если не весь импульс силы, предмета преобразуется в ударное давление в текучей среде. В противном случае, если бы процесс соударения был проведен в текучей среде на глубине, некоторая часть количества движения предмета терялась бы вследствие смещения текучей среды перед соударением.

Движущийся предмет может сталкиваться, или соударяться, с первой стеночной частью непосредственно или опосредованно, через другие соударения. Камера и стеночные части могут иметь разнообразные формы. Камера может включать цилиндр с плунжером, с предметом, который соударяется с плунжером или с цилиндром. Камера может включать две цилиндрических части, вставленных одна в другую. Первая стеночная часть, например в форме плунжера, может включать головку, расположенную поверх или полностью погруженной в текучую среду внутри камеры. Кроме того, первая стеночная часть может быть размещена в направляющей относительно окружающей части камеры, или может поддерживаться незакрепленной на своем месте. Камера может быть соединена с одним или более трубопроводами, размещенными в сообщении по текучей среде между текучей средой в камере и в резервуаре, где текучая среда может использоваться, например, в операциях по извлечению углеводородов, таком как подземный пласт или ствол скважины. Дополнительно, камера может быть размещена так, чтобы текучая среда транспортировалась через камеру.

Процесс соударения может быть простым путем инициирован тем, что выполняют падение одного или более предметов на первую стеночную часть с данной высоты. Тогда величина созданного ударного давления может определяться массой падающего предмета, высотой падения и площадью поперечного сечения тела в контакте с текучей средой. Таким образом, амплитуда созданного ударного давления и время, за которое они создаются, можно без труда контролировать. Подобным образом, амплитуда давления может быть легко скорректирована, изменена или задана регулированием, например, массы предмета в процессе соударения, высоты падения, относительной скорости соударяющихся предметов, или площади поперечного сечения (например, диаметра) первой стеночной части в контакте с текучей средой. Эти возможности настройки могут оказаться особенно благоприятными при нагнетании текучей среды и в заводнении текучей средой, поскольку разность между нормальным пластовым давлением и давлением гидравлического разрыва пласта часто может быть незначительной.

Поскольку процесс соударения может быть выполнен без необходимости в любом источнике прямого пневматического силового привода, предлагаемый способ может быть выполнен с помощью менее габаритного и более компактного оборудования. Кроме того, мощностные требования предлагаемого способа являются низкими по сравнению, например, с традиционной технологией импульсов давления, поскольку большая часть энергии может быть преобразована в ударное давление в текучей среде в результате процесса соударения или удара.

Предлагаемый способ приложения ударного давления может преимущественно эксплуатироваться на месте, где он требуется, или вблизи него, без каких-нибудь специальных требований в отношении охлаждения, чистоты окружающей среды, стабильности или тому подобных специальных условий, что может сделать предлагаемый способ преимущественным для применения на промысле с суровыми условиями. Например, в операциях по добыче углеводородов способ преимущественно действовать с платформ или с места, более близкого к поверхности. В отличие от инструментов сейсмической стимуляции, действующих на твердой структуре, и где необходимо выполнять соударение между падающим грузом и наковальной на твердой породе, которую нужно стимулировать, т.е. непосредственно в забое

ствола скважины, система для исполнения способа согласно вариантам осуществления изобретения не ограничивается каким-то специфическим местоположением и не нуждается в необходимости размещения на глубине в забое ствола скважины, или размещения ниже морского дна. Размещением системы и применением предлагаемого способа вблизи грунта или, например, на грунте или на платформе, или тому подобном, можно с выгодой использовать менее дорогостоящее оборудование и обеспечивать более простое и менее дорогостоящее техническое обслуживание, в особенности когда речь идет о работах на морских промыслах.

Кроме того, поскольку ударные давления, как представляется, способны передаваться на длинные расстояния и с минимальными потерями, предлагаемый способ подобным образом может при желании исполняться в отдалении от пластового резервуара, где должно прилагаться ударное давление.

Кроме того, поскольку способ согласно изобретению не проводят внутри ствола скважины или в его глубине, или вблизи подземного пласта, ударное давление, возможно, может быть создано в многочисленных буровых скважинах или местах нагнетания текучей среды одновременно.

Кроме того, предлагаемый способ генерирования ударного давления может быть преимущественно выполнен на уже существующих системах текучих сред только с минимальными нужными настройками или без таковых, простым подключением оборудования для генерирования ударного давления.

В общем, признак импульсов давления, который делает их пригодными для вариантов применения в операциях по извлечению углеводородов, состоит в том, что они распространяются подобно крутому фронту через текучую среду, как было упомянуто выше. Ударное давление имеет даже более крутой фронт, или даже более короткое время нарастания давления, поэтому ударное давление проявляет такие же важные характеристики, как импульсы давления, но в значительно более высокой степени.

В отношении добычи углеводородов из пористых сред представляется, что высокое давление в сочетании с очень коротким временем нарастания, которое может быть получено способом и с помощью системы согласно изобретению (и в сравнении с тем, что может быть получено с использованием других методов стимуляции давлением), создает достаточную разность давлений на протяжении длины порового канала, которая может преодолевать капиллярное сопротивление. Разность давлений поддерживается в течение достаточно длительного времени того же порядка (или более длительного), как временной параметр Рэлея. Вместе с тем относительно короткая продолжительность обеспечивает то, что усредненное по времени ударное давление не вносит существенного вклада в уравнение Дарси для пористой среды, тем самым сокращая риск раннего прорыва и образования языков в результате разности вязкостей.

В этом отношении применение ударных динамических характеристик (процесса соударения), как предлагается изобретением, обеспечивает простой и эффективный способ поддержания достаточной разности давлений в течение периода времени, близкого к временному параметру Рэлея. Кроме того, время нарастания контактирования в ходе процесса соударения может быть, как показано позже, оценено, например, с привлечением теории соударения Герца, или может быть коротким и такого порядка, как временной параметр Рэлея, что является благоприятным для получения повышенного коэффициента нефтеотдачи при добыче углеводородов из пористой среды. Как правило, время нарастания ударного давления (время, за которое давление повышается от нулевой до максимальной амплитуды) составляет величину порядка 1 мс (0,001 с) или менее. Короткое время нарастания делает ударное давление уникальным, когда его используют при извлечении углеводородных текучих сред.

Согласно одному варианту исполнения процесс соударения предусматривает падение предмета на первую стеночную часть под действием силы тяжести. Как было упомянуто ранее, это тем самым может быть достигнуто в процессе соударения, обеспечивающего создание ударных давлений значительной величины простыми средствами. Созданные амплитуды давления могут быть определены и отрегулированы как функция веса падающего предмета, скорости предмета при соударении, его массы, массы первой стеночной части, и ее площади поперечного сечения в контакте с текучей средой. Преимущественно могут быть получены амплитуды давления в диапазоне 50-600 бар (5-60 МПа), такие как в диапазоне 100-300 бар (10-30 МПа), такие как в диапазоне 150-200 бар (15-20 МПа). Вышеупомянутые параметры влияют на время нарастания ударного давления, которое преимущественно может быть в диапазоне 0,1-100 мсек в точке измерения, такое как в диапазоне 0,5-10 мс, такое как около нескольких миллисекунд, например, приблизительно 0,01-5,0 мс.

Согласно одному варианту исполнения предмет сталкивается с первой стеночной частью в воздушном окружении.

В одном дополнительном варианте осуществления изобретения способ согласно любому из вышеуказанных случаев дополнительно включает стадию, в которой генерируют несколько процессов соударения с временными интервалами. Это может действовать для усиления эффекта ударного давления, создаваемого в текучей среде. Ударное давление может создаваться с регулярными интервалами или с нерегулярными интервалами. В качестве одного примера ударное давление может быть индуцировано более часто и с более короткими интервалами времени на более ранней стадии операции по добыче углеводородов, и с более длительными интервалами позднее. Интервалы времени между циклами ударного давления могут, например, регулироваться и корректироваться в зависимости от результатов измерений (таких как измерения давления), выполняемых в то же время на подземном пласте.

Согласно вариантам осуществления изобретения, процессы соударения генерируются с интервалами времени в диапазоне 2-20 с, такими как в диапазоне 4-10 с, такими как приблизительно 5 с. Оптимальные интервалы времени могут зависеть от таких факторов, как тип пласта, пористость пласта, опасность разрыва пласта и т.д. Предпочтительные интервалы времени могут зависеть от таких факторов, как амплитуды прилагаемого давления и время нарастания.

В одном варианте исполнения способ включает стадию, в которой генерируют первую последовательность процессов соударения с первой настройкой амплитуды давления, времени нарастания и времени между соударениями с последующей второй последовательностью процессов соударения с иной настройкой амплитуды давления, времени нарастания и интервалом времени между соударениями. Например, этим путем могут выдаваться серии ударных давлений. Это может быть полезным для усиления действия ударных давлений. Как было упомянуто ранее, амплитуда и интервал времени индуцированного ударного давления могут быть относительно просто модифицированы и отрегулированы, например, корректированием веса движущегося предмета, или настройкой высоты падения.

В одном варианте осуществления изобретения настройку амплитуды давления и времени нарастания варьируют путем изменения массы движущегося предмета, и/или изменением скорости движущегося предмета относительно первой стеночной части перед соударением. Параметры ударных давлений, такие как амплитуды давления или время нарастания, тем самым могут быть изменены сообразно необходимости простыми, но все же эффективными средствами, и контролируемым путем.

Дополнительный аспект изобретения относится к системе генерирования ударного давления для создания ударного давления в текучей среде, применяемой для пластового резервуара при добыче углеводорода из пластового резервуара, причем система включает по меньшей мере одну частично заполненную текучей средой камеру в сообщении по текучей среде с пластовым резервуаром по меньшей мере через один трубопровод, причем камера включает первую и вторую стеночные части, подвижные относительно друг друга. Кроме того, система включает предмет, размещенный вне текучей среды, для соударения с первой стеночной частью в процессе соударения, чтобы тем самым ударять по текучей среде внутри камеры, генерируя ударное давление в текучей среде для распространения в пластовый резервуар через трубопровод. Камеру размещают относительно зоны камеры, в которой газовые включения естественным образом собираются под действием гравитационных сил, таким образом, что накопление газовых включений предотвращают, где первая стеночная часть ударяет по текучей среде, путем размещения трубопровода в зоне или рядом с ней, где любые газовые включения собираются естественным путем, и/или размещением первой стеночной части, наносящей удар по текучей среде, вне указанной зоны. Преимущества этого являются такими же, как было упомянуто в предыдущем изложении относительно способа генерирования ударного давления.

В одном варианте осуществления изобретения первая стеночная часть формирует плунжер, и камера дополнительно включает направляющую между плунжером и второй стеночной частью. Тем самым может быть получена прочная система, способная противостоять значительному числу соударений с предметом. Кроме того, направляющая может обеспечивать эффективное уплотнение между плунжером и второй стеночной деталью, в то же время позволяя плунжеру несколько смещаться во время процесса соударения.

В одном варианте осуществления изобретения камера включает первый и второй отсек, разделенные первой стеночной частью, и первая стеночная часть включает отверстие между указанными отсеками. Благодаря отверстию с обеих сторон первой стеночной части может быть установлено одинаковое давление текучей среды. Предмет, сталкивающийся с первой стеночной частью, тем самым не требует преодоления давления текучей среды, и большее количество энергии соударения может быть преобразовано в ударное давление.

В одном варианте осуществления изобретения предмет имеет массу в диапазоне 10-10000 кг, такую как в диапазоне 10-2000 кг, такую как в диапазоне 100-1500 кг, или в диапазоне 200-2000 кг, такую как в диапазоне 500-1200 кг. Предмет может быть опущен для падения на первую стеночную часть с высоты в диапазоне 0,02-2,0 м, такой как в диапазоне 0,02-1,0 м, такой как в диапазоне 0,05-1,0 м, такой как в диапазоне 0,05-0,5 м. Тем самым могут быть получены ударные давления в текучей среде с большими амплитудами в течение очень коротких периодов времени нарастания. Кроме того, система генерирования ударного давления может предусматривать регулируемые величины предмета и высоты падения в этих диапазонах, и с контролируемыми конструкционными требованиями.

В одном варианте осуществления изобретения система соединена со вторым резервуаром через дополнительный трубопровод, и система дополнительно включает нагнетательное устройство, создающее поток текучей среды из второго резервуара через камеру и в первый резервуар. Тем самым скорость течения можно простым путем регулировать и корректировать с помощью нагнетательного устройства.

В одном варианте осуществления изобретения трубопровод системы соединен со стволом скважины, протяженным от поверхности грунта до пластового резервуара, и причем камера размещена снаружи ствола скважины. Поверхность грунта может представлять собой, например, дно моря, или быть на уровне земной поверхности. Тем самым достигается то, что система может быть размещена в более удобном месте, нежели в забое буровой скважины, например с менее строгими требованиями в отноше-

нии занимаемого пространства, в менее суровых условиях окружающей среды, или при более простом доступе для технического обслуживания и ремонта.

Один дополнительный аспект изобретения относится к применению способа или системы для добычи углеводородов согласно вышеизложенному для извлечения углеводородной текучей среды из пористой среды в подземном пластовом резервуаре, в сообщении по текучей среде с трубопроводом таким образом, что ударное давление распространяется по текучей среде, по меньшей мере частично, в пористую среду.

Преимущества этого являются такими же, как было упомянуто ранее в отношении способа и системы генерирования ударного давления в текучей среде.

#### **Краткое описание чертежей**

Далее различные варианты осуществления изобретения будут описаны со ссылкой на чертежи, в которых

фиг. 1A-D иллюстрируют принципы физики удара, применимые для понимания ударного давления;

фиг. 2-3 показывают варианты исполнения устройств для генерирования ударных давлений в текучей среде, находящейся в сообщении по текучей среде с подземным пластовым резервуаром, согласно прототипу;

фиг. 4A иллюстрирует типичный профиль ударного давления, полученный в ходе экспериментов на кернах песчаника Berea;

фиг. 4B показывает одиночный импульс ударного давления в более подробном изображении, полученного и измеренного в экспериментах по заводнению на кернах песчаника Berea;

фиг. 5-6 представляет общий обзорный вид конфигурации, использованной в экспериментальном испытании на кернах песчаника Berea с использованием ударного давления;

фиг. 7 - обобщение некоторых результатов, полученных в экспериментах по заводнению с ударным давлением и без него; и

фиг. 8-14 показывают различные варианты исполнения устройства для генерирования ударного давления согласно изобретению.

#### **Подробное описание чертежей и вариантов осуществления изобретения**

Ударные давления подобны распространяющимся гидравлическим ударам в текучей среде и генерируются процессом соударения либо твердым предметом в движении, соударяющимся с текучей средой, либо протекающей текучей средой, сталкивающейся с твердым телом. Последняя ситуация описывается в рамках явления гидравлического удара, где количество движения протекающей текучей среды преобразуется в ударные давления в текучей среде.

Физический принцип процесса соударения между твердым телом и текучей средой более подробно описан далее, сначала с рассмотрением столкновений между твердыми предметами, которые анализируются на модели соударения идеализированных бильярдных шаров.

Модель соударения бильярдных шаров обрисована на фиг. 1A, иллюстрирующей различные этапы во время процесса соударения между двумя бильярдными шарами 1 и 2. Показанные на этой фигуре этапы представляют собой сверху вниз; 1) этап, на котором шар 1 движется со скоростью  $U$  в сторону неподвижного шара 2, 2) момент первого контакта, 3) момент максимального сжатия (преувеличено), 4) момент последнего контакта, и 5) этап, на котором шар 2 движется со скоростью  $U$ , и шар 1 неподвижен. Этапы 2-4 составляют часть стадии удара (или просто соударение). Соударение начинается во время первого контакта (этап 2) и завершается в момент последнего контакта (этап 4), и время контактирования представляет собой продолжительность от первого до последнего контакта.

Модель соударения бильярдных шаров моделирует процесс соударения как процесс идеально упругого взаимодействия без потери кинетической энергии во время цикла сжатия (нагрузки) и восстановления исходного состояния (снятия нагрузки). Модель соударения бильярдных шаров предполагает отсутствие проникновения и обмена частями материала между шарами во время процесса соударения. Относительная скорость  $U$  шара 1 представляет скорость соударения, и после момента первого контакта (этап 2) взаимопроникновение двух шаров не было бы обусловлено контактным усилием, возникающим в области контакта между двумя шарами.

Контактные усилия возрастают по мере увеличения площади контакта и сжатия. В некоторый момент во время соударения работа, выполняемая контактными усилиями, достаточна для доведения скорости сведения двух шаров до нуля. Это представляет собой момент максимального сжатия (этап 3). Смещение (величину сжатия) шара 1 во время цикла сжатия можно оценить с использованием принципа сохранения энергии

$$MU^2 = 2F\Delta s,$$

и принципа сохранения количества движения

$$F\Delta t = MU,$$

где  $\Delta s$  представляет смещение, которое необходимо для того, чтобы работа  $F\Delta s$  была равна кинетической энергии. Время контакта представляет собой  $\Delta t$ , и тем самым смещение задается как  $\Delta s = U\Delta t/2$ .

Оценка времени контактирования может быть получена применением теоретических принципов из

теории соударений Герца, рассматривающей соударение идеально твердой сферы и идеально твердой планарной поверхности. Закон Герца может быть выражен как

$$\Delta t = 2.86 \left( \frac{M^2}{RE^*U} \right)^{1/5}$$

где  $E^*$  записывается как

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \sigma_1^2}{E_1} + \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2},$$

" $E$ " представляет модуль упругости, и " $\sigma$ " представляет коэффициент Пуассона для сферы (1) и планарной поверхности (2). Ландау и Лифшиц модифицировали закон Герца для получения уравнения

$$\Delta t = 3.29 \left( \frac{(1 - \sigma^2)^2 M^2}{RE^2 U} \right)^{1/5}$$

для двух идентичных шаров с массой  $M$  и радиусом  $R$ , где теперь " $E$ " представляет модуль упругости, и " $\sigma$ " представляет коэффициент Пуассона для двух шаров (см. работу Landau и Lifschitz, Theory of elasticity ("Теория упругости"), Theoretical Physics, том 7, 3-е издание, 1999, издательство Butterworth-Heinemann, Оксфорд).

Бильярдные шары, изготовленные из фенолформальдегидной смолы, имеют модуль упругости около 5,84 ГПа, и коэффициент Пуассона около 0,34. Два идентичных бильярдных шара с  $R=2,86$  см и  $M=170$  г, сталкивающихся со скоростью  $U=1$  м/с, имеют время контактирования порядка 0,13 мс, и тем самым  $\Delta s$  составляло бы величину порядка 0,065 мм. Контактное усилие может быть оценено применением уравнения

$$F=MU/\Delta t$$

и вышеуказанных значений с получением тем самым контактного усилия порядка 1,3 кН, равного весу предмета с массой около 130 кг. Это представляет собой огромную величину сравнительно с массой двух бильярдных шаров (170 г). Эти наблюдения формируют фундаментальную гипотезу теории соударения твердых тел. Несмотря на большое контактное усилие (1,3 кН) имеет место очень маленькое смещение (0,065 мм), происходящее во время очень короткого периода контактирования (0,13 мс).

Фиг. 1В изображает процесс соударения, предусматривающий цепочку из пяти бильярдных шаров, и фигура показывает следующие этапы сверху вниз: 1) этап, на котором шар 1 движется со скоростью  $U$  в сторону шаров 2-5, все из которых неподвижны, 2) этап соударения, и 3) этап, на котором шар 5 движется со скоростью  $U$ , и шары 1-4 неподвижны. Цикл сжатия между шарами 1 и 2 начинается в момент первого контакта между шарами 1 и 2, и указанный цикл сжатия заканчивается в момент максимального сжатия между шарами 1 и 2. Цикл восстановления исходного состояния начинается в указанный момент максимального сжатия, но еще один цикл сжатия между шарами 2 и 3 начинается в то же время, как указанный цикл восстановления исходного состояния. Таким образом, цикл восстановления исходного состояния между шарами 1 и 2 развивается параллельно с циклом сжатия между шарами 2 и 3.

Эти симметричные восстановление исходного состояния и сжатие распространяются вдоль цепи бильярдных шаров 1-5 вплоть до цикла восстановления исходного состояния между шарами 4 и 5. Последний цикл восстановления исходного состояния заканчивается на шаре 5, движущемся со скоростью  $U$ , и тем самым распространение симметричных восстановления исходного состояния и сжатия по цепи шаров передает количество движения  $MU$  от шара 1 к шару 5. Симметричные восстановление исходного состояния и сжатие обрываются на шаре 5, и тем самым указанное распространение генерирует движение шара 5. Следует отметить, что общее время контактирования для системы, иллюстрированной в фиг. 1В, составляет не  $4 \Delta t$ , где  $\Delta t$  представляет время контактирования для системы, описанной в отношении фиг. 1А, но, скорее, равно  $3,5 \Delta t$ , как раскрыто, например, в работе Eur. J. Phys., том 9, стр. 323 (1988). Это демонстрирует, что циклы сжатия и восстановления исходного состояния перекрываются во времени, как было разъяснено выше, и что время контактирования для цепи из 3, 4 и 5 бильярдных шаров составляет величины 1,5, 2,5 и 3,5  $\Delta t$  соответственно.

Фиг. 1С приводит схему процесса соударения, который подобен системе, описанной в отношении фиг. 1В, только здесь предусмотрено соударение между твердыми телами и текучей средой. Шар 1 здесь сталкивается с плунжером 2, ударяющим по текучей среде, которая, в свою очередь, ударяет по плунжеру 4, где, по меньшей мере, некоторая часть количества движения, переносимого ударным давлением, преобразуется в перемещение шара 5. Плунжеры 2 и 4 могут перемещаться внутри двух заполненных текучей средой цилиндров, которые находятся в сообщении по текучей среде через трубопровод 3. Цикл сжатия между шаром 1 и плунжером 2 начинается в момент первого контакта. Цикл сжатия между плунжером 2 и текучей средой внутри первого гидравлического цилиндра также происходит во время соударения, но он начинается перед моментом максимального сжатия между указанным шаром 1 и указанным плунжером 2 вследствие более низкой сжимаемости текучей среды по сравнению с твердым телом.

Распространение симметричных цикла восстановления исходного состояния и сжатия по цепи бильярдных шаров, описанное в отношении фиг. 1В, подобным образом имеет место и здесь в системе, ил-

люстрированной на фиг. 1С, с дополнительным симметричным циклом восстановления исходного состояния и сжатия в текучей среде. Распространение в текучей среде передается как ударное давление, которое инициирует цикл сжатия, за которым следует цикл восстановления исходного состояния в текучей среде, когда оно перемещается через текучую среду.

Отрезок времени, или продолжительность, ударного давления, измеренного в некоторой точке в трубопроводе 3, может быть оценено с привлечением закона Герца

$$\Delta t = 2.86 \left( \frac{M^2}{RE^*2U} \right)^{1/5}$$

для времени контактирования. Важное значение для продолжительности ударного давления может быть получено применением выражения для приведенного выше  $E^*$ , с использованием коэффициента Пуассона 0,5 для текучей среды, и модуля объемной упругости текучей среды в качестве модуля упругости. Однако следует отметить, что продолжительность должна быть порядка  $3,5 \Delta t$ , поскольку весь процесс соударения в целом включает 5 предметов (два бильярдных шара, два плунжера и одну текучую среду).

Общий модуль упругости  $E^*$ , как записанный выше, становится равным 0,37 ГПа при применении данных для воды с модулем объемной упругости 0,22 ГПа. Это демонстрирует, что значение общего модуля упругости  $E^*$  определяет материал с наименьшим модулем упругости. В качестве одного примера бильярдный шар 1 с  $R=2,86$  см и  $M=170$  г, сталкивающийся при скорости соударения  $U=1$  м/с с плунжером 2, дает время контактирования порядка 0,37 мс. Поэтому продолжительность ударного давления в трубопроводе 3 может быть оценена как величина порядка 1,3 мс ( $0,37 \times 3,5$ ).

Событие столкновения шара 1 с плунжером 2, и резкое перемещение шара 5 разделены во времени, и указанное разделение может в значительной мере зависеть от длины трубопровода 3. Физика соударения на фиг. 1С не описана во всех ее деталях. Однако важными моментами являются такие, что ударные давления генерируются процессом соударения, включающим движущийся твердый предмет (шар 1), и что ударное давление переносит (или содержит) количество движения, которое может быть преобразовано в перемещение (и количество движения) твердого предмета (шара 5).

Фиг. 1D обрисовывает процесс соударения, аналогичный системе, описанной в отношении фиг. 1С, которая иллюстрирует этапы генерирования ударного давления в текучей среде. Шар 1 движется со скоростью  $U$  в сторону плунжера 2 в гидравлическом цилиндре (наверху), и соударяется с плунжером 2, подвижно размещенным внутри заполненного текучей средой цилиндра (внизу). Гидравлический цилиндр находится в сообщении по текучей среде через трубопровод 3 с подземным пластовым резервуаром 6 таким образом, что соударение генерирует ударное давление, которое распространяется в подземный пластовый резервуар. Ударное давление может инициировать перемещения в подземном пластовом резервуаре, и тем самым может приводить текучие среды в движение в подземном пластовом резервуаре, которые обычно являются неподвижными, например, вследствие действия разнообразных сил, таких как капиллярные силы.

Фиг. 2 показывает возможный вариант исполнения устройства 200 для генерирования ударных давлений в текучей среде, которую здесь нагнетают в подземный пластовый резервуар. Здесь устройство включает плунжер 202, размещенный в гидравлическом цилиндре 201 с отверстием 104 и в сообщении по текучей среде через трубопровод 110 с резервуаром 232 и подземным пластовым резервуаром 332, например, путем соединения трубопровода 220 с устьем ствола буровой скважины. Цилиндр с плунжером образует две стеночные части, подвижные друг относительно друга в заполненной текучей средой камере. Альтернативно или дополнительно, устройство может быть соединено с любым резервуаром другого типа, не обязательно расположенным ниже уровня грунта. В этом варианте исполнения вентили 121, 122 размещены в трубопроводах таким образом, что текучая среда может быть смещена только по направлению от резервуара 232 в сторону подземного пластового резервуара 332, где она может быть, например, использована для вытеснения углеводородов и/или других текучих сред. В других вариантах исполнения в трубопроводах не размещены никакие вентили, или же размещены только в некоторых трубопроводах. Один или более вентилях могут быть использованы, чтобы снизить способность ударного давления распространяться по любому нежелательному направлению, такому как в сторону резервуара 232. Вентиль мог бы представлять собой обратный клапан, который закрывается, когда появляется разность давлений между впускным и выпускным патрубками обратного клапана. Вентиль также может быть обычным клапаном вместе с некоторым устройством для перекрытия клапана во время процесса соударения.

Ударные давления генерируются устройством, когда предмет 208 соударяется вне текучей среды с плунжером 202, ударяющим по текучей среде в гидравлическом цилиндре. Ударные давления распространяются со скоростью звука в подземный пластовый резервуар 332 вдоль текучей среды из резервуара 232. Различные варианты исполнения устройства 200 описаны более подробно позже в отношении фиг. 3, 5 и 8-14.

Течение из одного резервуара в подземный пластовый резервуар может быть простым путем создано в результате разности гидростатического давления между резервуарами, или, альтернативно или до-

полнительно, может быть генерировано путем нагнетания. Устройство для генерирования ударного давления подобным образом может быть использовано для генерирования ударного давления в неподвижной текучей среде.

Гидростатический напор между резервуаром 232 и гидравлическим цилиндром 201, или, альтернативно или дополнительно, нагнетательным устройством, действует для выталкивания плунжера 202 в сторону крайнего положения между каждым из ударов предмета. При необходимости могут быть предусмотрены другие средства для перемещения плунжера 202 обратно в его исходное положение после соударения. Крайнее положение плунжера в изображенном варианте исполнения представляет собой его самое верхнее положение. В систему могут быть включены устройства для предотвращения выхода плунжера 202 наружу из гидравлического цилиндра. Одна торцевая сторона плунжера 202 находится в контакте с текучей средой. Плунжер 202 может быть размещен в цилиндре 201 с уплотнением для ограничения утечки текучей среды между гидравлическим цилиндром 201 и плунжером 202.

Поскольку плунжер контактирует с текучей средой, удар предмета по плунжеру вызывает смещение плунжера 202 в цилиндре, которое пропорционально времени контактирования во время удара между предметом 208 и плунжером 202, и скорости соударения предмета 208, как было разъяснено выше в отношении фиг. 1А. Поэтому смещение плунжера является очень малым, едва заметным, и незначительным, если сравнивать с тем, как плунжер должен был бы принудительно перемещаться вверх и вниз, чтобы создавать импульсы давления с измеримыми амплитудами пульсации текучей среды. Кроме того, в устройстве применен совершенно иной принцип, сравнительно, например, с инструментами для сейсмической стимуляции, где, как правило, груз соударяется с наковальной некоторого типа, расположенной непосредственно на твердой матрице. В этом случае удар тем самым передается твердому материалу, тогда как здесь подвергнутый удару плунжер ударяет по текучей среде, генерируя ударные давления в текучей среде. Смещение плунжера, вызванное ударом предмета, скорее обусловлено сжатием текучей среды непосредственно под плунжером, и происходит не вследствие любого вынужденного перемещения текучей среды.

Гидростатический напор значительной величины между резервуаром 232 и гидравлическим цилиндром 201, а также большое гидравлическое сопротивление в трубопроводах, ведущих к цилиндру и от него, также могут влиять на время контактирования, которое должно быть сокращено. Такое гидравлическое сопротивление могло бы быть вызвано многообразными особенностями трубопроводов, такими как сегменты с малым поперечным сечением в трубопроводах, длина трубопроводов, гидравлическое сопротивление вследствие трения на стенках трубопроводов, и изгибы вдоль трубопроводов.

Однако наиболее важным обоснованием для малого времени контактирования является инерция текучей среды, предотвращающая любое значительное изменение движения текучей среды (или перемещение плунжера 202) во время соударения. Поэтому соударение главным образом создает цикл сжатия в текучей среде, которое передается как ударное давление от гидравлического цилиндра 201, как также разъяснялось в отношении фиг. 1С.

Ударное давление распространяется в текучей среде со скоростью звука, двигаясь (если что-то не препятствует этому) в сторону обоих резервуаров 332 и 232, причем само по себе не создает никакого результирующего транспортирования текучей среды между резервуарами 232 и 332. Поэтому фиг. 2 иллюстрирует возможный вариант исполнения устройства 200 для генерирования ударного давления, где устройство само по себе не вызывает никакого результирующего транспортирования текучей среды.

Короткое время контактирования имеет результатом большие положительные амплитуды давления и очень короткие времена нарастания ударного давления. Сокращение или минимизация времени контактирования (и тем самым смещения плунжера) является желательным для повышения эффективности системы генерирования ударного давления в отношении достигаемых амплитуд давления, времени нарастания и продолжительности.

Высокие амплитуды и короткое время нарастания ударного давления представляются благоприятными в операциях по добыче углеводородов, повышая скорость проникновения в подземный пластовый резервуар 332 и подавляя любую тенденцию к закупориванию и поддерживая подземный пластовый резервуар в превосходных условиях течения. Эти превосходные условия течения увеличивают скорость и область, при которых нагнетаемая текучая среда из резервуара 232 может быть размещена в подземном пластовом резервуаре 332. Операции по извлечению углеводородов часто предусматривают вытеснение углеводородов в подземном пластовом резервуаре еще одной текучей средой, которая на фиг. 2 поступает из резервуара 232, и это замещение текучих сред усиливается ударным давлением, распространяющимся в подземный пластовый резервуар.

Ударные давления с отрицательной амплитудой давления могут быть генерированы, когда ударные давления распространяются в текучей среде и испытывают отражение в системе. Такая отрицательная амплитуда могла бы приводить к нежелательным кавитационным явлениям в системе, что может быть предотвращено достаточным притоком текучей среды из резервуара.

Фиг. 3 изображает еще один вариант исполнения устройства 200 для генерирования ударного давления. Здесь устройство дополнительно присоединено к устройству 340 для транспортирования текучей среды (такому как насос) и аккумулятору 350, который введен в трубопровод 212 между вентилем 224 и

резервуаром 232. Подобно предыдущей фиг. 2, устройство находится в сообщении по текучей среде с подземным пластовым резервуаром 332 по трубопроводу 211, соединенному с устьем 311 ствола скважины 312.

Текущая среда в резервуаре 232 протекает через трубопровод 212, устройство 340 для транспортирования текучей среды, аккумулятор 350, вентиль 224, гидравлический цилиндр 201, трубопровод 211, устье 311 ствола скважины, ствол 312 скважины, и поступает в подземный пластовый резервуар 332. Устройство 340 для транспортирования текучей среды содействует транспортированию текучей среды из резервуара 232 в подземный пластовый резервуар 332. Текучая среда из резервуара 232 размещается в подземном пластовом резервуаре 332, или же текучая среда из резервуара 232 вытесняет другие текучие среды в подземном пластовом резервуаре 332. Соударение предмета 208 с плунжером 202 генерирует ударное давление, которое распространяется в подземный пластовый резервуар 332.

Аккумулятор 350 действует для гашения любого ударного давления, перемещающегося от гидравлического цилиндра 201 через вентиль 224 и в сторону устройства 340 для транспортирования текучей среды, и тем самым предотвращает вредное воздействие ударного давления со значительной амплитудой на работу устройства 340 для транспортирования текучей среды. Аккумулятор 350 также может вмещать в себя любой небольшой объем текучей среды, которая может накопиться в трубопроводной системе во время процесса соударения вследствие режима непрерывной подачи текучей среды от устройства 340 для транспортирования текучей среды.

Однако недостаток описываемых систем согласно фиг. 2 или 3 состоит в необходимости регулярно удаления воздушных включений, захваченных внутри системы. Как правило, текучая среда, протекающая в гидравлический цилиндр 201 и из него, может содержать смесь текучих сред или других растворенных текучих сред. Во многих случаях система неизбежно будет содержать включения газа, например пузырьки воздуха, растворенные в водной текучей среде. Такие воздушные включения почти всегда присутствуют с самого начала в системах текучих сред, и могут перемещаться по системе с текучей средой, если их тщательно не удалять, например, удалением воздуха. Кроме того, воздушные пузырьки могут образовываться в воде вследствие турбулентного течения или вследствие удара предмета 208 по плунжеру 202. Такие газовые включения, как правило, будут проявлять тенденцию к накоплению в самой верхней зоне в устройстве под действием гравитационных сил, так как газовые пузырьки будут подниматься вверх в текучей среде. В устройстве, схематически изображенном на фиг. 2 и 3, эти мелкие газовые включения, такие как воздушные пузырьки, естественным путем собирались бы в зоне в самой верхней части цилиндра, ниже плунжера 202. Здесь, если это не предотвращать, газовые включения могут накапливаться со временем, образуя скопление газовых включений, в конце концов с образованием больших газовых пузырей. Если их не удалять, удар плунжера может вызывать кавитацию пузырьков, близких к плунжеру, что может повреждать оборудование. Кроме того, пузырьки, как представляется, снижают действенность процесса соударения, уменьшая амплитуду генерированного ударного давления и увеличивая время нарастания.

Фиг. 4А и 4В показывают один пример изменения давления во времени, полученного генерированием ударных давлений на устройстве, как изображенном на фиг. 5, и из экспериментальной конструкции, как схематически показанной на фиг. 6.

Фиг. 4А показывает давление  $p,400$  в текучей среде, как измеренное в фиксированном положении, и как функцию времени  $t,401$ , для продолжительности времени, где были генерированы 3 ударных давления 402. Одиночный импульс ударного давления показан более подробно на фиг. 4В, также иллюстрирующей типичный профиль ударного давления 402 во время продолжительности, или на отрезке 404 времени, прошедшего от момента, когда ударное давление генерировано, до максимального давления, и со временем 405 нарастания от момента, когда ударное давление обнаруживается, до достижения его максимума (амплитуда, 403). Как правило, ударные давления дают очень высокие и резко выраженные профили амплитуд давления, по сравнению с давлениями, которые могут быть получены традиционными способами напорно-импульсного воздействия. Т.е. ударные давления, как правило, создают значительно более высокие амплитуды давления со значительно более коротким временем нарастания и значительно более короткой продолжительностью ударного давления.

Экспериментально полученные графики давления на фиг. 4А и 4В были зарегистрированы с помощью конструкции, изображенной на фиг. 5, использованной для генерирования ударных давлений в экспериментах по заводнению кернов песчаника Berea.

Здесь ударные давления генерируют процессом соударения между предметом 208 и плунжером 202, ударяющим по текучей среде в цилиндре 201. В одной экспериментальной конструкции устройство 540 для нагнетания текучей среды было присоединено к трубопроводам 212 и 513. Резервуар 531 содержал соленую воду, используемую в экспериментах по заводнению керна. Пробку из керна песчаника Berea помещают в контейнер 532, который соединен с трубопроводами 211 и 512. Обратный клапан 522 присоединен к двум трубопроводам 512 и 514, и труба 533, размещенная по существу вертикально, используется для измерения объема нефти, извлеченной во время экспериментов по заводнению керна. Труба 533 соединена трубопроводом 515 с резервуаром 534, где собирается соленая вода.

В ходе экспериментов соленую воду нагнетают из резервуара 531 через материал керна, помещен-

ного в контейнер 532. В этих экспериментах были использованы керны песчаника Berea с различными проницаемостями около 100-500 мДарси, которые перед экспериментами были насыщены нефтью согласно стандартным процедурам. Нефть, извлеченная при заводнении соленой водой, будет накапливаться на верху трубы 533 во время экспериментов, и объем соленой воды, собранной в резервуаре 524, тогда равен объему, пропущенному из резервуара 531 нагнетательным устройством 540. Более конкретные процедуры, примененные в этих экспериментах, следуют стандартному методу для экспериментов по заводнению на кернах песчаника Berea.

Трубопровод 212 является гибким, чтобы вмещать в себя любой малый объем текучей среды, которая может быть аккумулирована в трубопроводе во время процесса соударения между плунжером 202 и предметом 208 вследствие непрерывного транспортирования текучей среды нагнетательным устройством 540.

Плунжер 502 размещают в цилиндре 201 в направляющей, и пространство в цилиндре ниже плунжера заполняют текучей средой. В экспериментах используют гидравлический цилиндр для воды объемом около 20 мл. Общий объем соленой воды, протекающей через контейнер 532, представлялся близко соответствующим фиксированной величине расхода потока от нагнетательного устройства. Таким образом, в этих экспериментах устройство, включающее гидравлический цилиндр 201, плунжер 202 и предмет 208, вносит лишь незначительный вклад в транспортирование соленой воды. Соударение предмета с плунжером происходит в течение очень короткого интервала времени, и текучая среда не способна отреагировать на высокую ударную нагрузку каким-то смещением, которое приводило бы к усилению течения и тем самым изменению фиксированной величины расхода потока. Скорее, текучая среда испытывает удар плунжера, и количество движения плунжера преобразуется в ударное давление.

Ударное давление в ходе выполнения экспериментов было генерировано предметом 208 с весом 5 кг, поднятым на высоту 17 см, и отпущенным падать на цилиндр, тем самым сталкиваясь с неподвижным плунжером 202. Использованный гидравлический цилиндр 201 имел объем около 20 мл и внутренний диаметр 25 мм, соответствующий диаметру плунжера 202.

Фиг. 6 представляет схему, показывающую устройство, использованное для выполнения процесса соударения и перемещения предмета, применяемого в процессе соударения в экспериментах на кернах песчаника Berea, и экспериментальную конструкцию, использованную в эксперименте по заводнению керна на керне песчаника Berea, как было описано ранее.

Ударные давления здесь генерируют ударной нагрузкой на плунжер 202 в заполненном текучей средой гидравлическом цилиндре 202. Масса 801 предусмотрена на размещенном вертикально стержне 802, который с помощью двигателя 803 приподнимается на определенную высоту, с которой он может падать вниз на плунжер 202 и ударять по нему. Сила удара тем самым определяется весом падающей массы и высотой падения. На стержень может быть помещена увеличенная масса, и корректируется ударная нагрузка. Гидравлический цилиндр 201 соединен через трубопровод 212 с насосом 540 для текучей среды, который нагнетает соленую воду из резервуара 804 (не показан) через цилиндр и через первоначально насыщенный нефтью керн песчаника Berea, помещенный в контейнер 532. Давление непрерывно измеряли в различных положениях. Обратный клапан 121 (не показан) между насосом и цилиндром обеспечивает однонаправленное течение. Будучи пропущенной через керн песчаника Berea, текучая среда (вначале текучая среда представляет собой только нефть, и после этого вода, которая прорывается через него, представляет собой почти только соленую воду) нагнетается в трубу для сбора извлеченной нефти, и в резервуар для соленой воды, как изображено на фиг. 5.

Эксперименты были проведены с ударными давлениями, генерированными с интервалом около 6 с (10 соударений в минуту) на протяжении периода времени многих часов.

Перемещение плунжера 202, вызванное соударениями, было весьма незначительным по сравнению с диаметром плунжера 202 и объемом гидравлического цилиндра 201, приводя только к сжатию общего объема текучей среды и не влияя на фиксированную величину расхода потока. Этот вывод также можно сделать из следующего. Объем гидравлического цилиндра 201 составляет около 20 мл, и объем текучей среды в керне песчаника Berea в контейнере составляет около 20-40 мл (были использованы керны с различными размерами пор). Поэтому совокупный объем, который может быть подвергнут сжатию предметом 208, соударяющимся с плунжером 202, составляет около 50-100 мл (в том числе некоторый объем трубопроводов). Сжатие такого объема примерно на 0,5% (которое потребовало бы давления около 110 бар (11 МПа), поскольку модуль объемной упругости воды составляет около 22000 бар (2200 МПа)) представляет сокращение объема примерно на 0,25-0,50 мл, соответствующее перемещению плунжера 202 вниз приблизительно на 1 мм или менее. Таким образом, плунжер 502 смещается примерно на 1 мм в течение интервала времени около 5 мс, на протяжении времени, за которое ударное давление могло бы распространиться преимущественно на 5-10 м. Это перемещение является весьма незначительным сравнительно с диаметром плунжера 202 и объемом гидравлического цилиндра 201.

Как было упомянуто выше, фиг. 4А показывает давление в текучей среде, измеренное на входе в контейнер 532, как функцию времени для одного из выполненных экспериментов. Ударное давление было генерировано предметом 208 с массой 5 кг, падающим на плунжер с высоты 0,17 м. Соударения (и тем самым ударное давление) были генерированы с интервалами времени приблизительно 6 с. Ударные дав-

ления были генерированы с амплитудами давления, измеренными в диапазоне 70-180 бар (7-18 МПа) или даже выше, поскольку манометры, использованные в экспериментах, могли измерять только до 180 бар (18 МПа). В сравнении, понадобился бы предмет с массой около 50 кг, чтобы протолкнуть или прижать (не ударять) вниз плунжер для создания статического давления только около 10 бар (1 МПа). Вариации измеренных ударных давлений можно объяснить изменением условий во время проведения эксперимента, так как состояние текучей среды (турбулентность и т.д.) и условия в песчанике Berea варьируют от соударения к соударению.

Одиночный импульс ударного давления показан гораздо подробнее в фиг. 4В, которая также иллюстрирует типичный профиль ударного давления, полученного и измеренного в лабораторных экспериментах по заводнению керна песчаника Berea. Следует отметить, что амплитуда 403 составляет около 170 бар (17 МПа) (около 2500 psi) и что ширина 404 каждого из ударных давлений в этих экспериментах составляет приблизительно или около 5 мс, тем самым давая очень крутой фронт давления и очень короткое время нарастания и время падения. В сравнении, амплитуды давления, полученные традиционным напорно-импульсным воздействием пульсирующей текучей средой, имеют значения ширины в несколько секунд, и амплитуды часто менее 10 бар (1 МПа).

Фиг. 7 представляет обобщение некоторых результатов, полученных в экспериментах по заводнению на кернах песчаника Berea, описанных ранее. Сравнительные эксперименты были проведены без ударного давления (отмечены как "А") и с ударным давлением (отмечены как "В"), и перечислены ниже в таблице в фиг. 7 рядом друг с другом, и для различных скоростей заводнения.

Эксперименты, выполненные без ударного давления (отмечены как "А"), были проведены на потоке текучей среды под действием статического давления, где нагнетательное устройство 540 было присоединено непосредственно к цилиндру 532 с керном. Другими словами, устройство 200 для генерирования ударного давления из гидравлического цилиндра 201, включающего плунжер 202 и предмет 208, было отключено или шунтировано. В обеих сериях экспериментов была использована одна и та же нефть типа Decan.

Средняя (в пределах поперечного сечения пробки из керна) скорость заводнения (мкм/с) задается величиной расхода потока, создаваемого нагнетательным устройством. Во всех экспериментах устройство для генерирования ударного давления практически не влияло на общую величину расхода потока и тем самым на скорость заводнения, которая является желательной, поскольку высокая скорость заводнения могла бы приводить в более неравномерному проникновению нагнетаемой воды, и тем самым вела к раннему прорыву воды и образованию языков из-за разности вязкостей. В эксперименте 3В конструкция дополнительно включала аккумулятор, размещенный между гидравлическим цилиндром 501 и устройством 540 для нагнетания текучей среды. Избыточное давление в этом аккумуляторе обуславливало дополнительный эффект нагнетания, вызывающий высокую скорость заводнения 30-40 мкм/с, как сообщается в таблице. В идеальном случае это избыточное давление должно было быть устранено. Результат 3В, включенный в фиг. 7, можно рассматривать как демонстрирующий, что улучшенное извлечение нефти может быть получено даже в случае высокой скорости заводнения. Как правило, большие величины расхода потока приводят к образованию языков из-за разности вязкостей и тем самым снижают нефтеотдачу. Поэтому этот экспериментальный результат показывает, что ударное давление предотвращает развитие образования языков из-за разности вязкостей, что объясняется ударным давлением, имеющим время нарастания и амплитуду, обеспечивающие разность давлений, преодолевающую капиллярное сопротивление в керне песчаника Berea.

Как видно из экспериментальных данных, применение ударного давления для заводнения приводит к значительному повышению нефтеотдачи в диапазоне приблизительно 5,3-13,6% (эксперименты 2 и 4 соответственно), четко демонстрируя потенциал предлагаемого способа извлечения углеводородов согласно настоящему изобретению.

Оценка времени контактирования между предметом и плунжером, и тем самым времени контактирования при соударении, может быть получена согласно той же серии вычислений, как обрисовано выше в отношении фиг. 1С, только здесь для теоретического процесса соударения между стальным шаром весом 5 кг (с  $R=5,25$  см и коэффициентом Пуассона около 0,28) и водой. Общий модуль упругости, как описанный выше, становится равным 0,39 ГПа при применении модуля объемной упругости 0,22 ГПа для воды и модуля упругости 215 ГПа для стали. Время контактирования порядка 3,17 мс и продолжительность около 4,8 мс получены при применении теории соударения Герца. Это можно сравнить с измеренной продолжительностью ударного давления около 5 мс в экспериментах, как измеренной из экспериментально выведенных графиков зависимости давления от времени.

Экспериментально измеренная продолжительность ударного давления тем самым хорошо согласуется с оценочным значением для времени контактирования и продолжительности, определенных по теории соударения Герца. Однако теория соударения Герца приложима только к твердым телам, имеющим упругость. Применение модуля объемной упругости вместо модуля упругости будет давать только оценку времени контактирования для процесса соударения между твердым телом (с упругостью) и текучей средой (без упругости).

Таким образом, применение стимуляций давлением, таким как ударное давление, во время заводне-

ния является благоприятным, когда оно приводит к достижению повышенной нефтеотдачи. Это можно объяснить высоким давлением в сочетании с коротким временем нарастания (и продолжительностью) ударного давления, чем обеспечивается достаточная разность давлений на протяжении длины порового канала, которая может преодолеть капиллярное сопротивление. Кроме того, разность давлений может поддерживаться в течение достаточно длительного времени (близкого к временному параметру Рэлея), создавая возможность прохода поверхности раздела текучих сред (вызывающих капиллярное сопротивление) через капиллярные каналы. Более того, короткое время нарастания ударного давления обеспечивает то, что усредненное по времени ударное давление не вносит существенного вклада в уравнение Дарси. Применение динамических характеристик соударения (процесса соударения) является простым и эффективным способом генерирования стимуляций давлением при коротком времени нарастания и для поддержания достаточной разности давлений в течение периода времени, близкого к временному параметру Рэлея, что можно объяснить коротким временем контактирования (по оценке с применением теории соударения Герца) и величиной того же порядка, как временной параметр Рэлея.

Фиг. 8А и 8В изображают различные варианты исполнения устройств 200 для генерирования ударных давлений. Устройство 200 включает следующие компоненты; заполненную текучей средой камеру, которая может быть в форме цилиндра 201 с двумя отверстиями, плунжер 202, подвижно размещенный внутри камеры 201, первый 211 и второй 212 трубопроводы, которые соединены с отверстиями в гидравлическом цилиндре 201, и предмет 208, который может соударяться с плунжером 202, тем самым нанося удар по текучей среде, главным образом в части 801 камеры. Гидравлический цилиндр 201 может быть закреплен болтами на тяжелой платформе или на грунте. В этом варианте исполнения плунжер 202 размещают в цилиндре таким образом, что его нижний конец (в его самом верхнем положении) находится непосредственно у верхнего края отверстий в гидравлическом цилиндре 201 или близко к нему. Устройство 200 в фиг. 8В включает такие же компоненты, как система, описанная в отношении фиг. 8А, только теперь камера с размещенным внутри плунжером перевернута относительно грунта так, что предмет 208 сталкивается с камерой, ударяющей по текучей среде в ней. Малое вертикальное смещение гидравлического цилиндра 201 во время удара предмета 208 не приводит к ограничению течения воды. Для приспособления к любому вертикальному смещению гидравлического цилиндра 201 сегменты трубопроводов 211 и 212 могут быть сделаны гибкими.

Как правило, текучая среда, протекающая из трубопровода 212 (через гидравлический цилиндр 201) и в сторону трубопровода 211, может содержать смесь текучих сред или других растворенных текучих сред. Во многих случаях система неизбежно будет содержать включения газа, например, пузырьки воздуха, растворенные в водной текучей среде. Такие воздушные включения почти всегда присутствуют с самого начала в системах текучих сред, и могут перемещаться по системе с текучей средой, если их тщательно не удалять, например, удалением воздуха. Кроме того, воздушные пузырьки могут образовываться в воде вследствие турбулентного течения или вследствие удара предмета 208 по плунжеру 202.

Такие газовые включения, как правило, будут проявлять тенденцию к накоплению в самой верхней зоне в устройстве под действием гравитационных сил, так как газовые пузырьки будут подниматься вверх в текучей среде. В устройствах, схематически изображенных на фиг. 8А и В, эти мелкие газовые включения, такие как воздушные пузырьки, естественным путем собирались бы в зоне 800 в самой верхней части цилиндра, ниже плунжера 202. Здесь, если это не предотвращать, газовые включения могут накапливаться со временем, образуя скопление газовых включений, в конце концов с образованием больших газовых пузырей.

Вследствие более высокой сжимаемости газовых включений по сравнению с текучей средой газовые включения, присутствующие под плунжером 202, ударяющим по текучей среде в камере, увеличивали бы время контактирования и смещение плунжера 202 во время соударения. Чем больше количество газовых включений, которые присутствуют, тем большее смещение плунжера получается, и тем дольше время контактирования. Это является неблагоприятным, когда требуется генерирование ударных давлений с большой амплитудой и короткими временем нарастания и продолжительностью, когда важно поддерживать время контактирования настолько коротким, насколько возможно.

Поэтому любое скопление или накопление газовых включений в зоне 800 должно быть сокращено или предотвращено в части камеры, где текучая среда непосредственно подвергается удару, 801. В вариантах исполнения согласно фиг. 8А и В это достигается размещением выпускного канала 211 из камеры рядом с зоной 800, где будут собираться газовые включения. Таким образом, газовые включения, такие как воздушные пузырьки, будут выталкиваться из гидравлического цилиндра 201 водой, протекающей из трубопровода 212 и в сторону трубопровода 211. В этих вариантах исполнения накопление газовых включений в камере дополнительно сокращается или даже предотвращается также размещением выпускного патрубка вслед за местом или в тесной близости к месту, где текучая среда подвергается удару в процессе соударения, тем самым улучшая протекание в этой части 801 камеры.

Фиг. 9А и В показывают два варианта исполнения устройства 200 для генерирования ударного давления, где две стеночные части 901, 902 камеры, подвижные относительно друг друга, сформированы цилиндрами, вставленными один в другой. В системе предусмотрено уплотнение, чтобы ограничить утечку текучей среды между цилиндрами 901 и 902. Кроме того, в системе может быть предусмотрено

устройство для предотвращения выхода цилиндра 901 из цилиндра 902 вследствие давления текучей среды, преодолевающего вес цилиндра 901 и любое трение в уплотнении.

В варианте исполнения согласно фиг. 9А, как впускной патрубков 212, так и выпускной патрубков 211 размещены в цилиндре 901, который подвергается удару предметом 208. Размещение впускного и выпускного патрубков относительно зоны 800 газовых включений сокращает или предотвращает любое накопление 801 таких газовых включений, где текучая среда подвергается удару. В варианте исполнения согласно фиг. 9В впускной патрубков 212 размещен в цилиндре 902, и выпускной патрубков 211 расположен в цилиндре 901, который подвергается удару предметом 208.

Фиг. 10А, В и С схематически показывают еще один вариант исполнения устройства для генерирования ударного давления согласно изобретению. Устройство 200 здесь включает плунжер 602, размещенный внутри цилиндра 601, где плунжер 602 разделяет цилиндр 601 на два отсека 1001, 1002. Плунжер 602 выступает наружу из гидравлического цилиндра 601 через отверстие 605 во втором отсеке 1002. Первый 211 и второй 212 трубопроводы соединены с двумя отверстиями в первом, заполненном текучей средой отсеке 1001. Предмет 208 размещен для соударения с плунжером 602, тем самым ударяющего по текучей среде в первом отсеке 1001, с образованием ударного давления, распространяющегося по трубопроводам 211 и 212, соответственно ранее раскрытым вариантам исполнения. Между плунжером 602 и стенками цилиндра в системе может быть предусмотрено уплотнение, чтобы ограничить утечку текучей среды между отсеками.

Кроме того, в систему может быть включено устройство для предотвращения перемещения плунжера 602 выше крайнего положения с преодолением давления текучей среды. Такое устройство может быть просто некоторой деталью плунжера 602 внутри цилиндра, которая не позволяет плунжеру выйти через отверстие 605.

Отверстие 604 позволяет текучей среде (например, воздуху) протекать или направляться во второй отсек 1002 и из него во время рабочего режима, чтобы корректировать или регулировать давление во втором отсеке 1002. Отверстие 604 в одном варианте исполнения может быть закрыто во время рабочего режима, тем самым подвергая текучую среду во втором отсеке сжатию и декомпрессии.

Таким образом, давление позади плунжера можно, например, контролировать так, чтобы полностью или частично выводить из равновесного состояния давление в текучей среде перед ударом предмета. Тогда это увеличивает количество энергии, которая будет преобразована в ударное давление.

Фиг. 10В показывает один вариант исполнения устройства, сравнимый с конструкцией на фиг. 10А, только здесь является иной ориентация системы, и предмет 208 соударяется с гидравлическим цилиндром.

Фиг. 10В показывает вариант исполнения устройства, сравнимый с конструкцией согласно фиг. 10А, только здесь плунжер 602 включает проточный канал 1003, чтобы текучая среда могла протекать между отсеками 1001, 1002, обеспечивая возможность размещения впускного патрубка 212 во втором отсеке 1002. В проточный канал вставлен однопроходный клапан 1004, позволяющий протекание только из второго отсека в первый отсек. Благодаря проточному каналу 1003 в плунжере давление в двух отсеках на обеих сторонах плунжера является одинаковым, и плунжер тем самым не перемещается под действием давления в текучей среде независимо от гидростатического давления в системе. Удар предмета 208 по плунжеру вызывает движение только вниз, и поэтому может быть применено другое устройство для перемещения плунжера в его исходное самое верхнее положение перед следующим ударом.

Фиг. 11-14 иллюстрируют различные варианты исполнения устройства для генерирования ударного давления согласно изобретению. В этих вариантах исполнения зона 800, где под действие гравитационных сил собираются любые газовые включения в текучей среде, была размещена в устройствах вне части 801 камеры, где текучая среда подвергается удару.

На фиг. 11 предмет соударяется с первой стеночной частью, расположенной на негоризонтальной стороне заполненной текучей средой камеры, тогда как любые газовые включения собираются в зоне 800 в самой верхней части камеры.

На фиг. 12 предусматривается падение всей камеры целиком вниз на предмет (такой как грунт). Тем самым текучая среда подвергается удару во время процесса соударения главным образом самой нижней частью 801 камеры, тогда как любые газовые включения естественным образом собираются в зоне 800 в самой верхней части камеры.

На фиг. 13 плунжер включает проточный канал 1003. Кроме того, его нижняя поверхность, обращенная в сторону зоны 1301 удара по текучей среде, является вогнутой таким образом, что газовые включения в первом отсеке 1001 будут перемещаться вверх в проточный канал для накопления в зоне 800 во втором отсеке вне зоны 801 удара.

На фиг. 14 поверхность плунжера, обращенная в сторону зоны 1301 удара по текучей среде, скошена относительно горизонтали так, что газовые включения будут подниматься и перемещаться в зону 800 в стороне от места 801, где плунжер ударяет по текучей среде.

В то время как были описаны предпочтительные варианты осуществления изобретения, должно быть понятно, что изобретение этим не ограничивается, и могут быть сделаны модификации без выхода за пределы изобретения. Область изобретения определяется пунктами прилагаемой патентной формулы,

и все устройства, которые попадают в пределы смысла пунктов патентной формулы, либо буквально, либо эквивалентно предполагаются включенными в изобретение.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система генерирования ударного давления для создания ударного давления в текучей среде, применяемой для пластового резервуара при добыче углеводорода из пластового резервуара, причем система включает, по меньшей мере, частично заполненную текучей средой камеру в сообщении по потоку с пластовым резервуаром по меньшей мере через один трубопровод, причем камера включает первую и вторую стеночные части, подвижные относительно друг друга, причем система дополнительно включает твердое тело, размещенное вне указанной текучей среды, для соударения с первой стеночной частью в процессе соударения, чтобы тем самым ударять по текучей среде внутри камеры, генерируя ударное давление в текучей среде для распространения в пластовый резервуар через упомянутый трубопровод, причем камера включает зону, расположенную в самой верхней части камеры, где газовые включения естественным образом собираются под действием гравитационных сил, и причем упомянутый трубопровод размещен в указанной зоне, расположенной в самой верхней части камеры, или указанная первая стеночная часть, наносящая удар по текучей среде, размещена вне указанной зоны, расположенной в самой верхней части камеры.

2. Система по п.1, в которой первая стеночная часть формирует плунжер и камера дополнительно включает направляющую между плунжером и второй стеночной частью.

3. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой камера включает первый и второй отсек, разделенные первой стеночной частью, и первая стеночная часть включает отверстие между указанными отсеками.

4. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой твердое тело имеет массу в диапазоне 10-10000 кг, такую как в диапазоне 10-2000 кг, такую как в диапазоне 100-1500 кг, или в диапазоне 200-2000 кг, такую как в диапазоне 500-1200 кг.

5. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой твердое тело отпускают для падения на первую стеночную часть с высоты в диапазоне 0,02-2,0 м, такой как в диапазоне 0,02-1,0 м, такой как в диапазоне 0,05-1,0 м, такой как в диапазоне 0,05-0,5 м.

6. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой система соединена со вторым резервуаром через дополнительный трубопровод и система дополнительно включает нагнетательное устройство, создающее поток текучей среды из второго резервуара через камеру и в первый резервуар.

7. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой упомянутый трубопровод соединен со стволом скважины, протяженным от поверхности грунта до пластового резервуара, и причем камера размещена снаружи ствола скважины.

8. Способ добычи углеводорода из пластового резервуара с использованием системы по любому из пп.1-7, включающий стадии, в которых

размещают, по меньшей мере, частично заполненную текучей средой камеру в сообщении по потоку с пластовым резервуаром по меньшей мере через один трубопровод, причем камера включает первую и вторую стеночные части, подвижные относительно друг друга;

размещают твердое тело вне текучей среды;

создают ударное давление в текучей среде для распространения в пластовый резервуар через упомянутый трубопровод, причем ударное давление генерируют процессом соударения, включающим соударение между указанным твердым телом и первой стеночной частью, в результате чего первая стеночная часть наносит удар по текучей среде внутри камеры;

размещают указанный трубопровод в зоне камеры, расположенной в самой верхней части камеры, где газовые включения собираются естественным образом под действием гравитационных сил, тем самым выводя газовые включения наружу из камеры, и/или путем размещения камеры так, что указанная первая стеночная часть, наносящая удар по текучей среде, размещена вне указанной зоны, расположенной в самой верхней части камеры.

9. Способ добычи углеводорода по п.8, где указанный процесс соударения включает стадию, в которой обеспечивают падение твердого тела на первую стеночную часть под действием силы тяжести.

10. Способ добычи углеводорода по любому из пп.8, 9, где указанное твердое тело сталкивается с первой стеночной частью в воздушной среде.

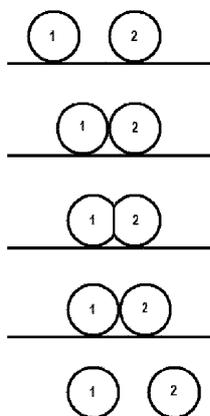
11. Способ добычи углеводорода по любому из пп.8-10, дополнительно включающий стадию, в которой генерируют несколько указанных процессов соударения с интервалами времени.

12. Способ добычи углеводорода по п.11, где указанные процессы соударения генерируют с интервалами времени в диапазоне 1-20 с, такими как в диапазоне 4-10 с, такими как приблизительно 5 с.

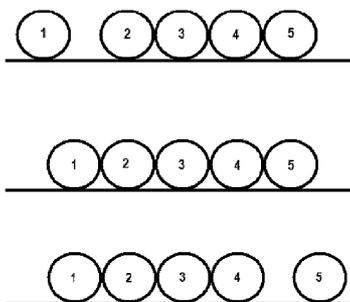
13. Способ добычи углеводорода по любому из пп.11, 12, включающий стадию, в которой генерируют первую последовательность процессов соударения с первой настройкой амплитуды давления, времени нарастания и времени между соударениями с последующей второй последовательностью процессов соударения с иной настройкой амплитуды давления, времени нарастания и интервалом времени между

соударениями.

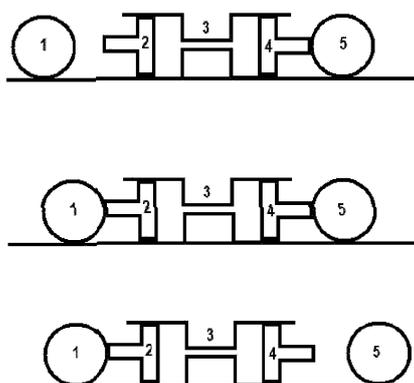
14. Способ добычи углеводорода по п.13, в котором указанную настройку амплитуды давления и времени нарастания варьируют путем изменения массы твердого тела и/или изменением скорости твердого тела относительно первой стеночной части перед соударением.



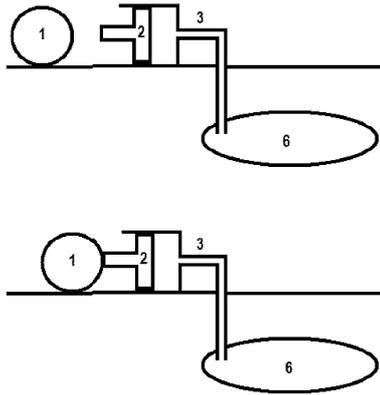
Фиг. 1А



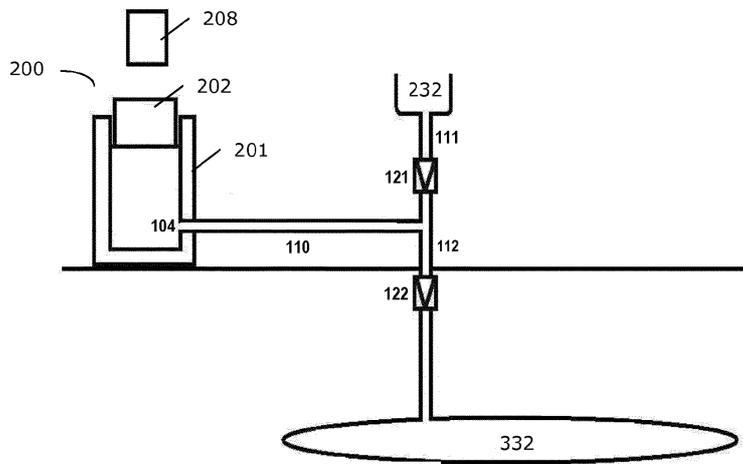
Фиг. 1В



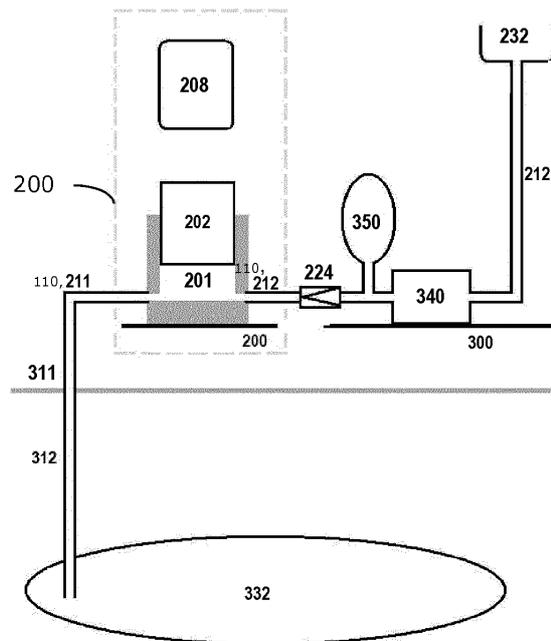
Фиг. 1С



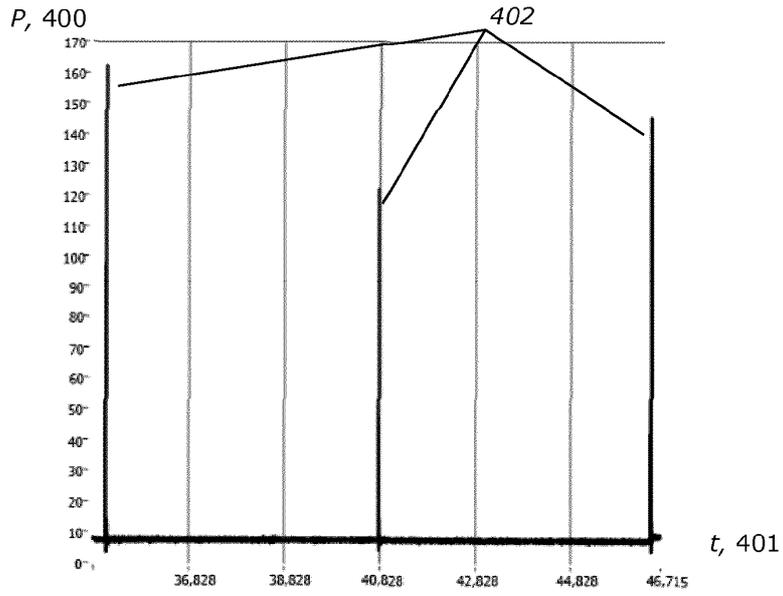
Фиг. 1D



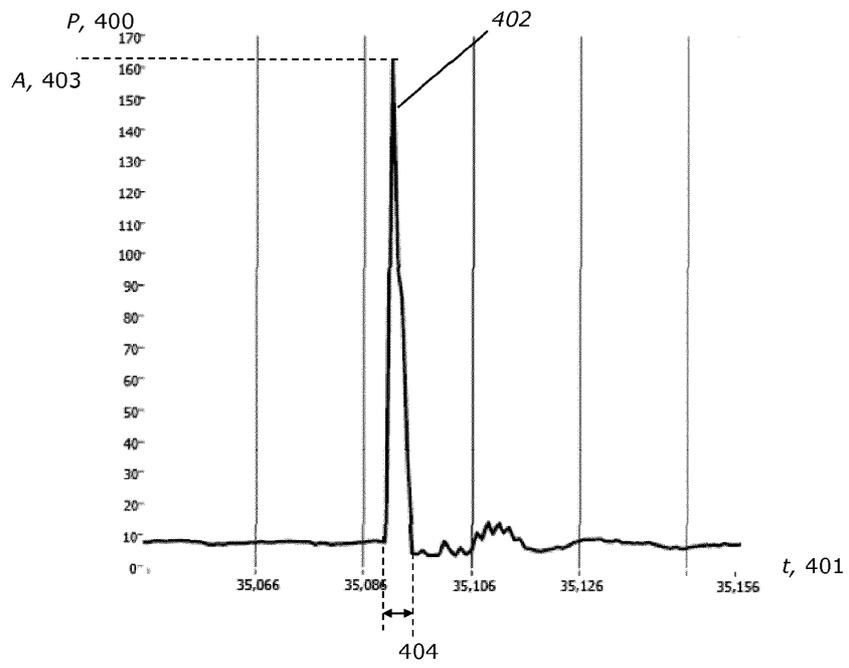
Фиг. 2



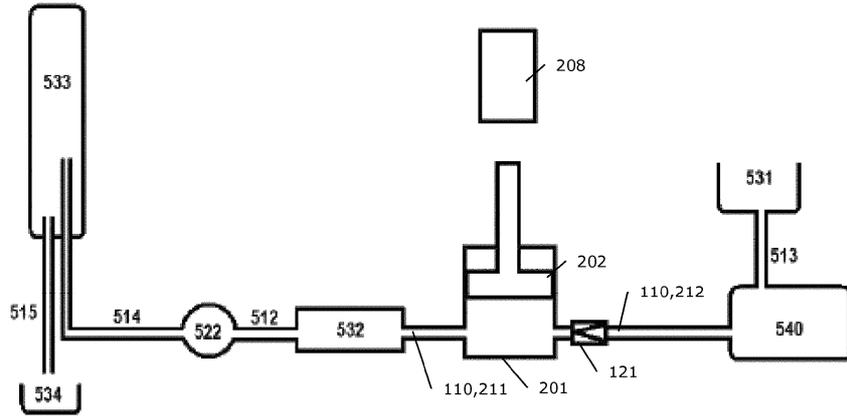
Фиг. 3



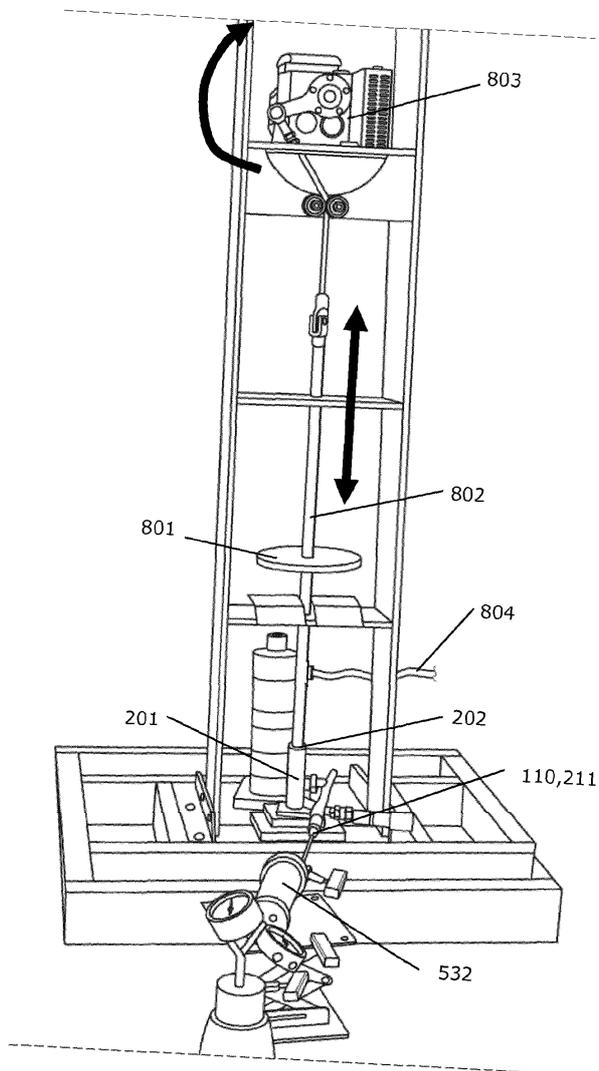
Фиг. 4А



Фиг. 4В



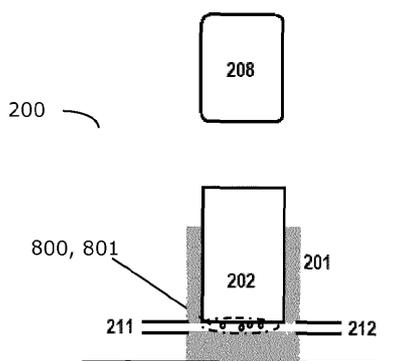
Фиг. 5



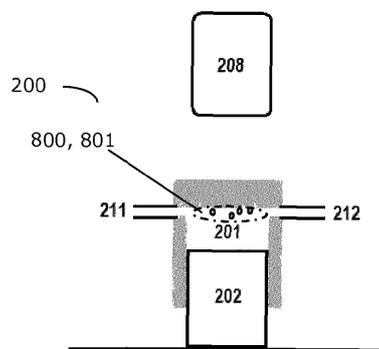
Фиг. 6

Эксперименты A = стандартный способ; B = кратковременные давления	Поровый объем керна (мл)	Размер L/D (см)	Проницае- мость по воде (Kw) (мДарси)	Исходное масло на месте (мл)	Скорость заходнения (мкм/сек)	Извлеченное масло (мл)	Нефтеотдача (% исходного оливогого масла (OOIP))
1 A	37.0	14.8/3.79	540	30.0	1.48	16.1	53.6
<b>1 B</b>	<b>37.3</b>	<b>14.8/3.79</b>	<b>540</b>	<b>29.9</b>	<b>1.48</b>	<b>19.4</b>	<b>64.9</b>
2 A	19.7	10.0/3.705	134	15.8	1.55	8.3	52.5
<b>2 B</b>	<b>19.7</b>	<b>10.0/3.705</b>	<b>134</b>	<b>16.1</b>	<b>1.55</b>	<b>9.3</b>	<b>57.8</b>
3 A	37.0	14.8/3.79	540	30.0	14.8	16.2	54.0
<b>3 B</b>	<b>37.0</b>	<b>14.8/3.79</b>	<b>540</b>	<b>30.6</b>	<b>30-40</b>	<b>20.7</b>	<b>67.6</b>
4 A	19.7	10.0/3.705	134	15.8	15.5	8.4	53.2
<b>4 B</b>	<b>19.7</b>	<b>10.0/3.705</b>	<b>134</b>	<b>16.1</b>	<b>15.5</b>	<b>9.9</b>	<b>61.5</b>

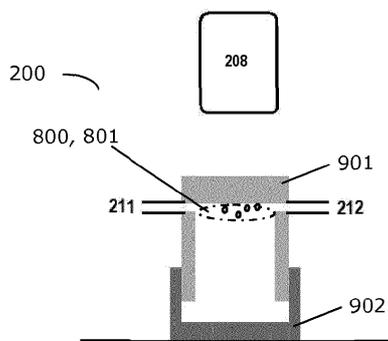
Фиг. 7



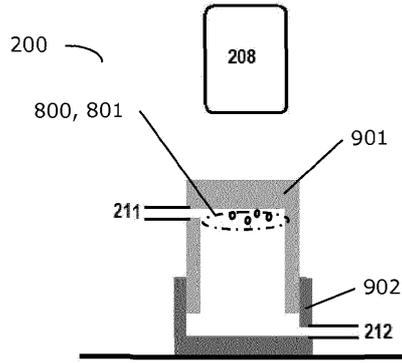
Фиг. 8А



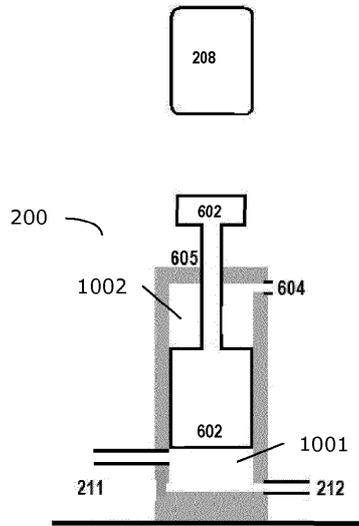
Фиг. 8В



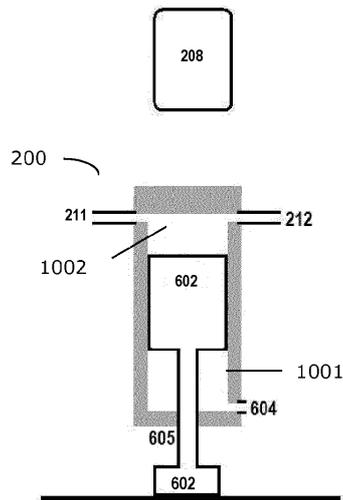
Фиг. 9А



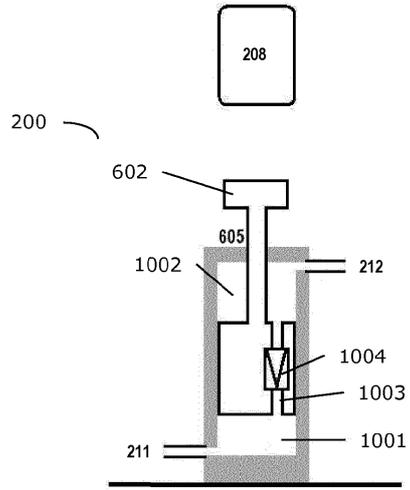
Фиг. 9В



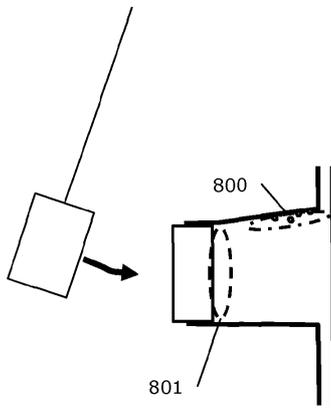
Фиг. 10А



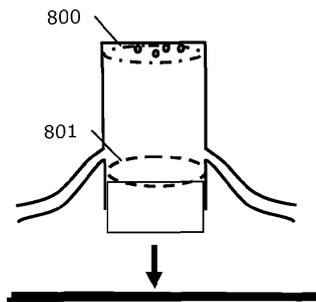
Фиг. 10В



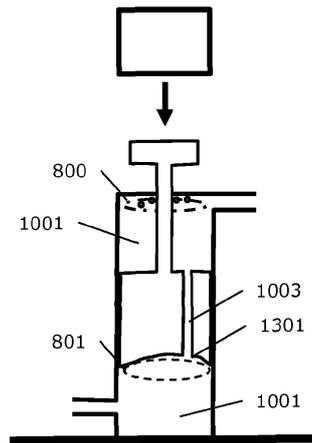
Фиг. 10С



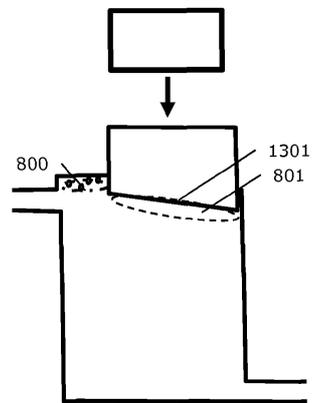
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14