



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*E21B 43/25 (2022.08)*

(21)(22) Заявка: **2022125397**, **28.09.2022**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**28.09.2022**

Дата регистрации:  
**03.02.2023**

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: **28.09.2022**

(45) Опубликовано: **03.02.2023** Бюл. № 4

Адрес для переписки:  
**420088, Рес. Татарстан, г. Казань, ул. Арбузова,  
8, Патентный отдел**

(72) Автор(ы):

**Абдрашитов Алексей Алланович (RU),  
Марфин Евгений Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки "Федеральный  
исследовательский центр "Казанский  
научный центр Российской академии наук"  
(RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: **RU 2653205 C2, 07.05.2018. RU  
2637008 C2, 29.11.2017. RU 2637009 C2,  
29.11.2017. RU 2122109 C1, 20.11.1998. US  
6029746 A1, 29.02.2000. US 4041984 A1,  
16.08.1977.**

(54) Способ генерирования и модуляции волн давления в стволе нагнетающей скважины и устройство для его осуществления

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к способу генерирования и модуляции волн давления в стволе нагнетающей скважины и устройству для его осуществления. Способ генерирования волн давления в стволе нагнетательной скважины включает установку на нижнем конце насосно-компрессорной трубы устройства для генерирования и модуляции волн давления, подачу жидкости через входное сопло в цилиндрическую камеру. Струю жидкости направляют через кольца в выходное отверстие. Формируют струю жидкости в пространстве между днищами. Генерируют первичные колебания давления на двух высоких близких

частотах при протекании струи сквозь кольца. Создают низкочастотные биения и возбуждают резонанс в цилиндрической камере на частоте биений, соответствующей частоте собственных колебаний цилиндрической камеры. Формируют низкочастотную волну давления за выходным отверстием в затрубном пространстве скважины на частоте биений. Технический результат заключается в увеличении эффективности колебания давления, в повышении подвижности флюидов в призабойном пространстве пласта, в усилении механического воздействия на твердые отложения на стенках скважины при закачке в нее технической жидкости. 2 н.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 789 492 C1

RU 2 789 492 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*E21B 43/25 (2022.08)*

(21)(22) Application: **2022125397, 28.09.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**28.09.2022**

Registration date:  
**03.02.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **28.09.2022**

(45) Date of publication: **03.02.2023** Bull. № 4

Mail address:

**420088, Res. Tatarstan, g. Kazan, ul. Arbuzova, 8,  
Patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Abdrashitov Aleksei Allanovich (RU),  
Marfin Evgenii Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki "Federalnii issledovatel'skii  
centr "Kazanskii nauchnii centr Rossiiskoi  
akademii nauk" (RU)**

(54) **METHOD FOR GENERATING AND MODULATING PRESSURE WAVES IN AN INJECTION WELLBORE AND A DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: oil industry.

SUBSTANCE: group of inventions relates to a method for generating and modulating pressure waves in an injection wellbore and a device for its implementation. The method for generating pressure waves in an injection wellbore includes installing a device for generating and modulating pressure waves at the lower end of the tubing, supplying fluid through an inlet nozzle to a cylindrical chamber. A jet of liquid is directed through the rings to the outlet. A jet of liquid is formed in the space between the bottoms. Primary pressure fluctuations are generated at two high close frequencies when the jet flows through the rings. Create

low frequency beats and excite resonance in the cylindrical chamber at a beat frequency corresponding to the natural frequency of the cylindrical chamber. A low-frequency pressure wave is formed behind the outlet in the well annulus at the beat frequency.

EFFECT: technical result consists in increasing the efficiency of pressure fluctuations, in increasing the mobility of fluids in the bottomhole formation space, in increasing the mechanical effect on solid deposits on the walls of the well when a technical fluid is injected into it.

2 cl, 3 dwg

**RU 2 789 492 C1**

**RU 2 789 492 C1**

Группа изобретений относится к нефтедобывающей промышленности, а именно к способу и устройству генерирования волн давления в затрубном пространстве нагнетательной скважины, предназначенным для очистки стенок скважин и отверстий перфорации от твёрдых отложений, декольматации призабойной зоны пласта и

5 увеличения подвижности пластовых флюидов.

Известно, что закачка жидкости в продуктивный пласт на поздней стадии разработки увеличивает дебит добывающих скважин. Также известно, что создание колебаний давления в прилегающем участке пласта способствует выходу капиллярно защемлённой нефти, декольматации призабойной зоны, что также приводит к увеличению дебита

10 добывающих скважин. Закачку жидкости в продуктивный пласт осуществляют через несколько нагнетающих скважин, расположенных вокруг добывающей скважины.

Наиболее эффективны способы создания колебаний давления на забое скважины с использованием для этой цели гидродинамических генераторов, устанавливаемых непосредственно в том месте, где они наиболее востребованы, т.е. на нижнем конце

15 насосно-компрессорных труб (НКТ). Волны давления, генерируемые этими устройствами, достаточно быстро затухают, и поэтому желательно располагать их в непосредственной близости с объектом воздействия, а именно с отверстиями перфорации в обсадных трубах и призабойной зоной пласта.

При таком способе генерирования колебаний давления, вся жидкость прокачивается

20 через гидродинамический генератор, который тем или иным образом создаёт колебания давления в протекающей через него жидкости, распространяя своё воздействие на прилегающую область. Прокачиваемая жидкость затем поступает в пласт. Жёсткая конструкция струйных генераторов и отсутствие движущихся в процессе работы деталей является их достоинством.

Недостатком гидродинамических генераторов является невозможность генерирования волн давления с низкой частотой в ограниченном объёме при высоком давлении подачи жидкости, поскольку для усиления упругих волн низкой частоты требуются резонаторы

25 очень большого размера. Также недостатком гидродинамического генератора является наличие жесткой конструкции, которая затрудняет перенастройку резонансной частоты без существенного изменения всей конструкции.

30

Известны устройства и способы генерирования и модуляции волн давления в потоке жидкости, в которых собирают комбинированную акустическую колебательную систему и используют струйные генераторы. Так, например, в патентах [RU2637008, опубл. 29.11.2017 и RU2637009, опубл. 29.11.2017], описаны устройства, которые представляют

35 собой две самостоятельные колебательные системы. Одну часть разночастотной колебательной системы настраивают на генерацию, усиление и формирование высокочастотной волны одной частоты, а другую часть колебательной системы – на другую частоту. При этом систему устанавливают в скважине. Формируют за ним параллельные высокочастотные волны двух различных частот, взаимодействующие

40 между собой и образующие в результате модуляции в ближнем поле низкочастотную волну разностной частоты, которую усиливают в низкочастотном объемном резонаторе и направляют в ствол нагнетательной скважины.

В патенте [RU2653205, опубл. 07.05.2018] также описана группа изобретений, предназначенная для очистки стенок скважины от твердых отложений. Описан способ

45 генерирования и модуляции волн давления в потоке жидкости, в котором собирают комбинированную акустическую колебательную систему, состоящую из двух совмещенных акустических колебательных систем. При этом внешняя акустическая колебательная система представляет собой струйный осциллятор Гельмгольца и

включает входное сопло, камеру-резонатор и выхлопной канал. Внутренняя акустическая колебательная система представляет собой свисток Гальтона и включает входное сопло и втулку-резонатор. Причем обе акустические колебательные системы возбуждаются одновременно одной струей газа, подаваемой из общего кольцевого сопла на острые входные кромки выхлопного канала и втулки-резонатора соответственно. Соединяют кольцевое сопло с каналом насосно-компрессорной трубы и осуществляют по ней подачу в скважину газа, организуют за кольцевым соплом струю газа и направляют ее на острые входные кромки выхлопного канала и втулки-резонатора. Генерируют колебания давления на острых входных кромках выхлопного канала и усиливают их амплитуду в камере-резонаторе. Генерируют колебания давления высокой частоты на острых входных кромках втулки-резонатора и усиливают их амплитуду во втулке-резонаторе. Генерируют колебания давления низкой частоты на острых входных кромках выхлопного канала и усиливают их амплитуду в камере-резонаторе. Формируют на выходе из комбинированной акустической колебательной системы волновой пакет, включающий волны давления высокой и низкой частоты, выполняют их взаимную модуляцию с образованием волны разностной частоты, амплитуду которой усиливают за выхлопным каналом и направляют в призабойное пространство пласта через перфорационные отверстия в стенке обсадной трубы.

Для генерирования волн давления в затрубном пространстве скважины известны [US4041984, опубл. 16.08.1977] способ и устройство, состоящее из цилиндрического корпуса с двумя параллельными днищами; входного сопла, расположенного в центре переднего днища; выходного отверстия, расположенного соосно входному соплу в центре заднего днища; входное сопло соединено с НКТ, а выходным отверстием направляют вниз по скважине, при этом расстояние между отверстиями и объем камеры масштабируются с размером входного отверстия, и при этом частота собственных колебаний камеры соответствует частоте Гельмгольца.

Способ осуществляют следующим образом: в скважину закачивают воду и помещают жидкостный генератор (заявляемое устройство) со струйным приводом. Впускное отверстие во время работы соединено с источником постоянного потока жидкости, таким как обычный насос и аккумулятор, так что текучая среда, протекающая в камеру через впускное отверстие, имеет постоянную скорость, на диаметре  $D_1$ . Когда жидкость входит в камеру через диаметр, она продолжает двигаться к выходу. Однако по мере того, как жидкость покидает диаметр  $D_1$ , начинает развиваться вихревое кольцо, средний диаметр которого в конечном итоге превышает диаметр  $D_2$  выпускного отверстия, и поэтому часть жидкости попадает в концевую камеру, окружающую выпускное отверстие. На выходе создается волна давления, которая затем распространяется в направлении к входу со скоростью звука в жидкости. Поскольку вихри не являются непрерывными, т.е. разнесены во время своего движения от  $D_1$  к  $D_2$ , изменения уровня энергии струйного течения будут флуктуационными. По мере того, как повышение уровня энергии достигает выпускного отверстия, выходной поток будет увеличиваться, и наоборот. При этом постоянный входной поток, пропорциональный частоте Гельмгольца и длине струи, приводит к колеблющемуся выходному потоку и колебаниям давления внутри камеры примерно с частотой Гельмгольца. Таким образом, выходной поток представляет собой пульсирующий поток. Давление внутри камеры также колеблется, и при постепенном увеличении скорости струи возникают области, в которых наблюдаются большие колебания потока и давления. Недостатком указанного способа генерирования волн давления является невозможность модулирования частоты

колебаний давления выходного потока.

Для генерирования волн давления в затрубном пространстве скважины известно [RU2122109, опубл. 20.11.1998] изобретение, в котором способ осуществляют следующим образом: в скважину закачивают воду (без активаторов и специального подогрева),  
5 необходимую для замещения нефти в продуктивном пласте и поддержания пластового давления. При протекании воды через гидродинамический излучатель часть энергии потока воды преобразуется в упругие колебания в диапазоне частот от 1 до 45 кГц, которые воздействуют на нефтяной коллектор. При этом происходит декольматация призабойной зоны нагнетательной скважины, высвобождение капиллярно замещенной  
10 нефти, что приводит к выравниванию фронта замещения нефти водой и повышению на 10-90% нефтеотдачи продуктивных пластов. Способ предусматривает производство в потоке технической жидкости колебаний давления слишком высокой частоты. Как известно, воздействие на пласт колебаниями давления высокой частоты малоэффективно.

Для генерирования колебаний давления в потоке жидкости известны [US6029746,  
15 опубл. 29.02.2000] способ и устройство, представляющее собой полое тело вращения и состоящее из камеры, входного сопла и выходного отверстия, расположенных соосно с некоторым интервалом. Это устройство называют струйным осциллятором Гельмгольца (СОГ). Устройство состоит из двух относительно самостоятельных элементов. Входное сопло, струя жидкости и выпускное отверстие образуют собой  
20 струйный генератор колебаний давления, который функционирует и при отсутствии камеры-резонатора, хотя амплитуда генерируемых колебаний давления весьма невелика. Резонатор усиливает колебания давления, созданные каким-то другим устройством, поскольку заключённый в нём столб жидкости почти неподвижен. Генератор активен, он сам создаёт колебания давления, поскольку в его составе имеется высокоскоростная  
25 струя, располагающая для этого запасом кинетической энергии. Резонатор пассивен, он лишь откликается, т.е. усиливает колебания давления, созданные каким-то другим устройством, поскольку заключенный в нем столб жидкости почти неподвижен. Способ генерирования колебаний давления осуществляют следующим образом: устройство спускают в скважину, заполненную кольцевой жидкостью по спусковой колонне с  
30 предварительно выбранными скоростями и давлениями, чтобы обеспечить резонансную частоту колебаний в камере. Вихри и затухающие пульсации давления в жидкости выходят из колебательной камеры через центральное отверстие в дне камеры и выводятся через выпускные отверстия устройства. Выбрасываемая жидкость создает пульсирующую ударную волну в жидкости кольцевого пространства в скважине.  
35 Пульсирующая ударная волна подвергает перфорационные отверстия изменениям давления, которые вызывают циклические растягивающие и сжимающие напряжения в них и разрушают материал, закупоривающий перфорационные отверстия и скважину. Кроме того, волны давления разрушают части формации и стимулируют скважину для нефтеотдачи. Время, в течение которого обрабатываемое устройство остается вблизи  
40 отверстия, зависит от свойств пласта. Недостатком указанных устройств и способа является генерация колебаний давления на одной частоте, что исключает возможность появления периодических низкочастотных всплесков амплитуды колебаний.

Известен способ генерирования волн давления в затрубном пространстве скважины, реализованный в устройстве [Экспериментальное исследование осциллятора  
45 Гельмгольца, управляемого струёй. Перевод ВЦП №В-56251 из J. FluidEngineering, 1979, 101, IX, №3, 383-390], при котором устанавливают на нижнем конце насосно-компрессорной трубы (НКТ) струйный осциллятор Гельмгольца, состоящий из цилиндрической камеры, ограниченной двумя параллельными днищами, с входным

соплом, расположенным в центре переднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и соединенным с каналом НКТ, с выходным отверстием, расположенным в центре заднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и направленным в затрубное пространство нагнетающей скважины, при этом, подают жидкость через входное сопло в цилиндрическую камеру, направляют струю жидкости в выходное отверстие, формируют струю жидкости с возмущённой периферией в пространстве между днищами и генерируют первичные колебания давления при протекании струи сквозь выходное отверстие, усиливают первичные колебания давления в цилиндрической камере за счёт возбуждения резонанса на частоте её собственных колебаний, которая настроена конструктивно при производстве цилиндрической камеры, формируют волны давления за выходным отверстием в затрубном пространстве скважины.

Струйный осциллятор предназначен для преобразования кинетической энергии потока в колебательную энергию. Акустический резонатор предназначен для избирательного усиления колебаний давления определённой частоты. Процесс генерации колебаний давления в потоке начинается, как правило, с разгона потока, поскольку амплитуда колебаний давления увеличивается с увеличением величины скоростного напора струи. Разгон потока осуществляется во входном сопле, которое кроме увеличения скорости служит ещё для формирования струи той или иной формы: круглой, плоской, кольцевой. За срезом сопла нестеснённая свободная струя движется в объёме камеры резонатора между крышками. При вытекании через выходное отверстие струя задевает своей возмущённой периферией его острую внутреннюю кромку. Это производит небольшие локальные возмущения давления небольшой амплитуды в области кромки. Камера-резонатор служит для усиления этих первичных колебаний давления. Для усиления первичных локальных колебаний давления внутри камеры-резонатора необходимо согласование частоты первичных колебаний давления (ПКД) с частотой собственных колебаний (ЧСК) столба жидкости, заключённого в камере-резонаторе. Иными словами, можно сказать так, что две части одного устройства должны быть настроены в унисон.

Недостатком этого способа генерирования волн давления в затрубном пространстве является высокая частота колебаний давления при генерировании в условиях ограниченного объёма резонатора.

Известны способ и устройство генерирования волн давления в стволе нагнетательной скважины [RU2670623, опубл. 24.10.2018], предназначенные для очистки от твёрдых отложений стенок обсадных труб и отверстий перфорации, декольматации призабойной зоны пласта и увеличения подвижности пластовых флюидов. Скважинный акустический излучатель для генерирования волн давления в потоке жидкости представляет собой полое тело вращения и состоит из: цилиндрической камеры с двумя плоскими днищами; осесимметричного сопла, выполненного в центре переднего днища и выходного отверстия с острой кромкой, выполненного соосно соплу в центре заднего днища. Сопло включает сужающийся разгонный участок и цилиндрический выравнивающий участок, заканчивающийся плоским сопловым срезом, ортогональным оси сопла. При этом геометрия сужающегося разгонного участка плавно сопряжена с геометрией цилиндрического выравнивающего участка без излома контура сопла. При этом плоский сопловый срез расположен на внутренней стенке передней крышки.

Недостатком устройства и способа генерирования волн давления в затрубном пространстве является увеличение скорости потока струи, что, в свою очередь, приводит к недостаточной очистке отверстий перфорации в обсадных трубах и призабойной зоной пласта.

Известны способ и устройство для генерирования волн давления в стволе нагнетательной скважины [RU2572250, опублик. 10.01.2016], принятые заявителем за прототип. Данный способ генерирования волн давления на забое скважины характеризуется тем, что устанавливают на нижнем конце канала насосно-компрессорной трубы (НКТ) струйный осциллятор Гельмгольца (СОГ), представляющий собой полое тело вращения и состоящий из: цилиндрической камеры с двумя параллельными днищами; входного сопла, расположенного в центре первого по потоку днища, кольца с острой внутренней входной кромкой, расположенного в центре камеры на радиальных стойках с возможностью перемещения вдоль цилиндрической камеры, и выходного отверстия с острой кромкой, расположенного соосно входному соплу в центре второго днища. Входное сопло соединяют с каналом НКТ, а выходное отверстие направляют в затрубное пространство скважины. Подают жидкость через входное сопло в цилиндрическую камеру, направляя струю жидкости в выходное отверстие таким образом, чтобы струя в пространстве между входным соплом и выходным отверстием протекала сквозь кольцо и задевала своей возмущённой периферией острую внутреннюю входную кромку кольца, при этом формируют струю жидкости с возмущённой периферией в пространстве между днищами. Генерируют таким образом первичные колебания давления в области острой кромки кольца, которые усиливаются за счет того, что в цилиндрической камере частота собственных колебаний предварительно настроена в резонанс с частотой первичных колебаний давления, вследствие этого формируются волны давления за выходным отверстием в затрубном пространстве скважины.

Недостатками способа и устройства, выбранных в качестве прототипа, является отсутствие модуляции волн первичных колебаний давления. Устройство генерирует первичные колебания давления одной частоты, поскольку генерирующее отверстие с острой кромкой одно, камера также настроена на усиление только этих колебаний.

Технической проблемой, на решение которой направлена заявляемая группа изобретений, является не только генерирование первичных колебаний, но и модулирование волн, возникающих внутри камеры, усиливающихся и распространяющихся в затрубное пространство. Технической проблемой также является расширения арсенала устройств и способов генерирования и модуляции волн давления в затрубном пространстве.

Технический результат состоит в генерировании первичных колебаний на двух высоких близких частотах, и такой режим производит низкочастотные биения, приводящие к модуляции волн, возникающих внутри камеры, усиливающихся и распространяющихся в затрубное пространство на частоте биений. Также техническим результатом, обеспечиваемым изобретением, является реализация изобретением указанного назначения.

Техническая проблема решается, и указанный технический результат достигается устройством для генерирования волн давления в стволе нагнетающей скважины – струйным осциллятором Гельмгольца (СОГ), состоящим из:

цилиндрической камеры, ограниченной двумя параллельными днищами, с входным соплом, расположенным в центре переднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и соединенным с каналом НКТ, с выходным отверстием, расположенным в центре заднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры, направленным в затрубное пространство скважины, с кольцом с острой входной кромкой, установленным соосно входному соплу и выходному отверстию, в котором внутри цилиндрической камеры между днищами, на оси цилиндрической камеры за первым установлено второе

кольцо с острой входной кромкой, соосно первому кольцу, причем первое кольцо с большим диаметром отверстия установлено ближе к входному соплу, а второе кольцо с меньшим диаметром отверстия установлено за первым кольцом.

Также техническая проблема решается, и указанный технический результат достигается заявляемым способом генерирования волн давления в стволе нагнетательной скважины, при котором:

устанавливают на нижнем конце насосно-компрессорной трубы (НКТ) устройство для генерирования волн давления в потоке жидкости – струйный осциллятор Гельмгольца (СОГ), состоящий из:

цилиндрической камеры, ограниченной двумя параллельными днищами, с входным соплом, расположенным в центре переднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и соединенным с каналом НКТ, с выходным отверстием, расположенным в центре заднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и направленным в затрубное пространство нагнетательной скважины, кольцом с острой входной кромкой, установленным соосно входному соплу и выходному отверстию на оси цилиндрической камеры между днищами;

подают жидкость через входное сопло в цилиндрическую камеру, направляют струю жидкости через кольцо в выходное отверстие, формируют струю жидкости с возмущённой периферией в пространстве между днищами и генерируют первичные колебания давления при протекании струи сквозь кольцо,

усиливают первичные колебания давления в цилиндрической камере за счёт возбуждения резонанса на частоте её собственных колебаний, которая настроена конструктивно при производстве цилиндрической камеры, формируют волны давления за выходным отверстием в затрубном пространстве скважины,

генерируют первичные колебания давления в цилиндрической камере на двух высоких близких частотах, создают низкочастотные биения и возбуждают резонанс в цилиндрической камере на частоте биений, которая соответствует частоте собственных колебаний цилиндрической камеры, формируют низкочастотную волну давления за выходным отверстием в затрубном пространстве скважины на частоте биений.

Особенностью заявляемого способа является то, что используют струйный осциллятор Гельмгольца, внутри цилиндрической камеры которого между днищами, на оси цилиндрической камеры, на небольшом расстоянии от первого, установлено второе кольцо с острой входной кромкой соосно первому кольцу, причем первое кольцо с большим диаметром отверстия установлено ближе к входному соплу, а второе кольцо с меньшим диаметром отверстия установлено за первым кольцом.

В отличие от прототипа, где модуляция волн внутри камеры отсутствует, генерирование первичных колебаний на двух высоких близких частотах производит низкочастотные биения, приводящие к модуляции волн, возникающих внутри камеры, усиливающихся и распространяющихся в затрубное пространство на частоте биений.

На фигуре 1 изображена схема заявляемого устройства (слева продольный, справа поперечный разрез).

На фигуре 2 изображена осциллограмма с биениями при генерации заявляемым устройством колебаний давления на двух близких частотах.

На фигуре 3 представлена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) колебательного процесса в заявляемом устройстве при режиме биений.

Заявляемое устройство для генерирования и модуляции волн давления в затрубном пространстве скважины состоит из цилиндрической камеры 1, представляющей собой полую стальную трубу, заглушенную с обеих сторон плоскими стальными днищами.

Днища камеры 1 плотно приварены к стальной трубе и установлены параллельно друг другу.

В переднем по потоку (входном) днище цилиндрической камеры 1 на оси камеры 1 установлено входное сопло 2, представляющее собой небольшой кусок стальной трубы.

5 В заднем по потоку (выходном) днище цилиндрической камеры 1 выполнено выходное отверстие 3 с острой внутренней кромкой, обращённой внутрь цилиндрической камеры 1.

Также в цилиндрической камере 1, соосно входному соплу 2 и выходному отверстию 3, на небольшом расстоянии друг от друга установлено два стальных кольца 4 и 5.

10 Кольца 4 и 5 могут быть установлены в цилиндрической камере 1 любым возможным способом, например, как в прототипе, на радиальных стойках, приваренных к камере и к кольцам.

Кольца 4 и 5 имеют острые внутренние входные кромки на стороне, обращённой к входному соплу. При этом кольцо 4, с большим диаметром отверстия, устанавливается ближе к входному соплу 2, а кольцо 5, с меньшим диаметром отверстия конструктивно располагают за кольцом 4. Отверстия колец выполнены различных диаметров для того, чтобы в кольцо 5 с меньшим диаметром внутреннего отверстия попадала внутренняя невозмущённая часть струи, а не след от переднего кольца. Это сделано для возможности осуществить генерацию первичных колебаний давления на двух близких частотах, определяемых удалённостью кольца от входного сопла 2.

15 Размеры отверстий колец никак не отражаются на частоте генерации первичных колебаний, значение имеет лишь расстояния между кольцом 4 и входным соплом 2 и кольцом 5 и входным соплом 2.

25 Работает устройство для генерирования волн давления в затрубном пространстве скважины следующим образом.

Заявляемый способ основывается на использовании способности высокоскоростной струи жидкости генерировать слабые локальные колебания давления при натекании на препятствие с острой (генерирующей) кромкой. В качестве генерирующей кромки могут использовать острый клин, отверстие с острой кромкой в пластине или же кольцо, установленное соосно струе. При натекании струи на острую кромку кольца в непосредственной близости от места соударения возникают слабые первичные колебания давления (ПКД). Их амплитуда очень мала, и их можно уловить только специальными инструментами, а частоту возникновения определяют выражением формулы (1).

35 Для формирования волнового поля на забое скважин на нижнем конце насосно-компрессорной трубы (НКТ) устанавливаются гидродинамический генератор колебаний давления в протекающем потоке жидкости. Наиболее эффективным устройством является струйный осциллятор Гельмгольца (СОГ), в котором до помещения устройства в НКТ, заранее настраивают частоту собственных колебаний давления цилиндрической камеры.

40 Частоту генерации первичных колебаний давления (ПКД) при натекании струи на острые кромки колец определяют из формулы:

$$\omega = Sh \cdot W / L_{СТР} \quad (1),$$

где  $W$  – скорость струи,  $L_{СТР}$  – длина струи,  $Sh$  – число Струхалья, которое определяют экспериментально ( $Sh \approx 0,3$ ). Частоту генерации изменяют за счёт регулирования длины свободного участка струи, либо скорости истечения из входного сопла 2 при изменении давления подачи. Расстояние между днищами  $L_D$  тождественно длине струи  $L_{СТР}$  в резонаторе без колец, а в этом изобретении  $L_1$  и  $L_2$  – это расстояния между выходной

кромкой входного сопла 2 и кольцами 4 и 5 соответственно. Расход подаваемой жидкости и скорость прокачки определяют приемистостью пласта и поддерживают неизменными в ходе ремонтных работ на скважине.

В заявляемом способе заложена возможность настраивать частоту генерации первичных колебаний давления  $\omega$  на острой внутренней входной кромке кольца при неизменной скорости струи  $W$ , за счет перемещения колец вдоль оси струи с изменением длины струи  $L_{СТР}$ . Это позволяет изменять объем ( $V$ ) цилиндрической камеры 1 для согласования частоты собственных колебаний цилиндрической камеры 1  $f_C$  с частотой первичных колебаний давления на острой кромке  $\omega$ .

Частоту собственных колебаний (ЧСК) цилиндрической камеры струйного осциллятора Гельмгольца определяют по формуле Релея,

$$f_c = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{V} \left( \frac{\ell_1}{S_1} + \frac{\ell_2}{S_2} \right)} \quad (2)$$

где  $c$  – скорость звука,  $S_1$  – площадь проходного сечения входного сопла,  $\ell_1$  – длина входного сопла,  $S_2$  – площадь проходного сечения выходного отверстия,  $\ell_2$  – длина выходного отверстия,  $V$  – объем цилиндрической камеры диаметром  $D$  и длиной  $L$  (расстояние между днищами).

В прототипе размер цилиндрической камеры 1 рассчитывают таким образом, чтобы частота собственных колебаний заключенного в ней столба жидкости была равна частоте генерации первичных колебаний давления на острой кромке выходного отверстия. Обычно, необходимая частота генерации первичных колебаний давления известна, это та самая величина, которая требуется нефтяникам для выполнения очистки ремонтируемой скважины. Если частота образования этих возмущений давления совпадает с частотой собственных колебаний неподвижного столба жидкости, заключенного внутри цилиндрической камеры 1, то амплитуда колебаний давления многократно увеличивается.

В заявляемом изобретении на острых кромках колец 4 и 5 генерируются первичные колебания давления. На кольце 4 генерируются ПКД большей частоты ( $\omega_1$ ), поскольку оно установлено ближе к входному соплу 2 и  $\ell_2$  в знаменателе формулы (1) меньше, а на кольце 5 – ПКД меньшей частоты ( $\omega_2$ ), так как оно установлено на большем расстоянии от входного сопла. Поскольку расстояния и  $\ell_1$  и  $\ell_2$  между выходной кромкой входного сопла 2 и кольцами 4 и 5 имеют близкие значения (кольца 4 и 5 расположены близко друг от друга), то ПКД, сгенерированные на острых кромках колец 4 и 5 имеют близкие частоты ( $\omega_1$  и  $\omega_2$ ), колебания этих двух близких частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$  усиливаются, и их взаимодействие в замкнутом объеме приводит к периодическим всплескам давления с частотой, равной  $(\omega_1 - \omega_2)$ . При наложении двух периодических колебаний давления близких частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$  в цилиндрической камере 1 возникает режим биений (Крауфорд Ф.М., Волны. Предмет: Физика. ВУЗ: КузГТУ. стр. 42), в результате которого в цилиндрической камере 1 возникают колебания давления с основной частотой  $\omega = (\omega_1 + \omega_2)/2$ , а также с частотой биений  $(\omega_1 - \omega_2)$ .

В заявляемом способе размер цилиндрической камеры 1 формируют таким образом, чтобы частота собственных колебаний заключенного в ней столба жидкости была равна частоте биений  $(\omega_1 - \omega_2)$ .

Цилиндрическую камеру 1 устанавливают на нижнем конце НКТ и ее входное сопло

2 соединяют с каналом НКТ, а выходное отверстие 3 направляют в затрубное пространство скважины. При подаче в НКТ ремонтируемой скважины технической жидкости вся подаваемая жидкость протекает через входное сопло 2, и при этом на выходе из сопла формируется осесимметричная струя. Струя устремляется на кольца 4 и 5 с острыми внутренними кромками, обращёнными навстречу потоку, при этом генерируются первичные локальные колебания давления двух близких частот в области острых кромок кольца 4 и кольца 5, что создает колебательную систему с частотой собственных колебаний (ЧСК), возбуждаемых при натекании круглой струи жидкости на острые кромки колец 4 и 5. Поскольку кольца 4 и 5 удалены от выходной кромки входного сопла 2 на различное, но близкое по значению расстояние, то частота генерации ПКД на каждом из них будет немного отличаться, причем колебания этих двух близких частот будут усиливаться, и их взаимодействие в замкнутом объёме приведет к периодическим всплескам давления с частотой, равной разнице частот, сгенерированных на кольцах 4 и 5 (частота биений), возникают колебания на основной частоте, и на частоте биений. ЧСК цилиндрической камеры 1 резонирует с частотой биений, многократно усиливая амплитуду колебаний. Далее мощная струя вытекает через выходное отверстие 3 вниз по стволу скважины в затрубное пространство в продуктивный пласт и ещё дальше в призабойную зону пласта, оказывая усиленное механическое воздействие на твердые отложения на стенках скважины, что способствует более эффективной их очистке.

На фигурах 2 и 3 представлены осциллограмма и амплитудно-частотный спектр (АЧС) колебательного процесса в заявляемом устройстве при режиме биений. В АЧС наблюдаются две доминирующие близкие частоты: 173 и 195 Гц.

Поэтому в осциллограмме видны периодические всплески и провалы амплитуды регистрируемого сигнала вследствие биений.

Предложенная группа изобретений – способ генерирования и модулирования волн давления в стволе нагнетательной скважины и устройство для его осуществления – позволяют осуществить генерацию первичных колебаний давления на двух близких частотах, приводящую к модуляции волн в затрубном пространстве, и тем самым увеличить эффективность колебания давления, повысить подвижность флюидов в призабойном пространстве пласта и усилить механическое воздействие на твердые отложения на стенках скважины при закачке в нее технической жидкости через струйный параметрический излучатель за счет формирования в канале скважины волны давления низкой частоты с высокой амплитудой, а также расширить арсенал устройств и способов для генерирования и модуляции волн давления в затрубном пространстве.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01174, <https://rscf.ru/project/22-29-01174/>.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ генерирования волн давления в стволе нагнетательной скважины, при котором устанавливают на нижнем конце насосно-компрессорной трубы (НКТ) устройство для генерирования волн давления в потоке жидкости – струйный осциллятор Гельмгольца,

состоящий из: цилиндрической камеры, ограниченной двумя параллельными днищами, с входным соплом, расположенным в центре переднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и соединенным с каналом НКТ, с выходным отверстием, расположенным в центре заднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и направленным в затрубное пространство нагнетающей скважины, кольцом с острой

входной кромкой, установленным соосно входному соплу и выходному отверстию на оси цилиндрической камеры между днищами;

5       подают жидкость через входное сопло в цилиндрическую камеру, направляют струю жидкости через кольцо в выходное отверстие, формируют струю жидкости с возмущённой периферией в пространстве между днищами и генерируют первичные колебания давления при протекании струи сквозь кольцо,

10       усиливают первичные колебания давления в цилиндрической камере за счёт возбуждения резонанса на частоте её собственных колебаний, которая настроена конструктивно при производстве цилиндрической камеры, формируют волны давления за выходным отверстием в затрубном пространстве скважины,

15       отличающийся тем, что используют струйный осциллятор Гельмгольца, внутри цилиндрической камеры которого между днищами на оси цилиндрической камеры за первым установлено второе кольцо с острой входной кромкой соосно первому кольцу, причем первое кольцо с большим диаметром отверстия установлено ближе к входному соплу, а второе кольцо с меньшим диаметром отверстия установлено за первым кольцом, генерируют первичные колебания давления в цилиндрической камере на двух высоких близких частотах, создают низкочастотные биения и возбуждают резонанс в цилиндрической камере на частоте биений, которая соответствует частоте собственных колебаний цилиндрической камеры, формируют низкочастотную волну давления за

20       выходным отверстием в затрубном пространстве скважины на частоте биений.

2. Устройство для генерирования волн давления в потоке жидкости – струйный осциллятор Гельмгольца,

25       состоящий из: цилиндрической камеры, ограниченной двумя параллельными днищами, с входным соплом, расположенным в центре переднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры и соединенным с каналом НКТ, с выходным отверстием, расположенным в центре заднего по потоку днища на оси цилиндрической камеры, направленным в затрубное пространство скважины, с кольцом с острой входной кромкой, установленным соосно входному соплу и выходному отверстию на оси цилиндрической камеры между днищами,

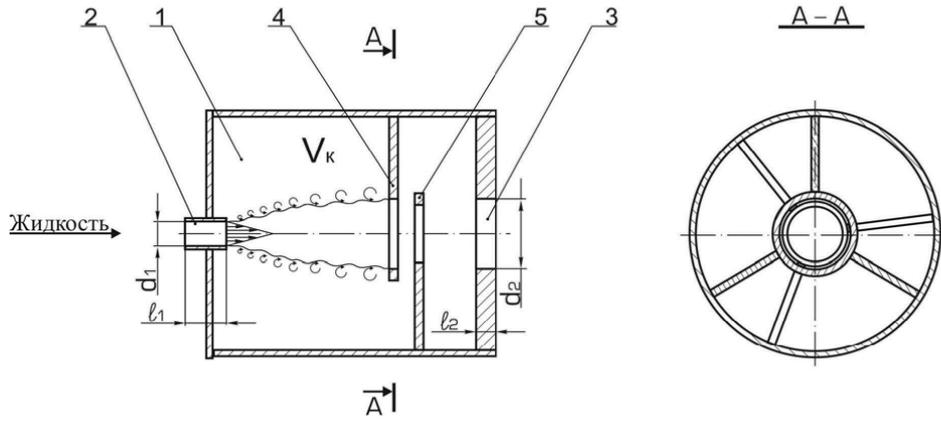
30       отличающийся тем, что внутри цилиндрической камеры между днищами, на оси цилиндрической камеры за первым установлено второе кольцо с острой входной кромкой соосно первому кольцу, причем первое кольцо с большим диаметром отверстия установлено ближе к входному соплу, а второе кольцо с меньшим диаметром отверстия установлено за первым кольцом.

35

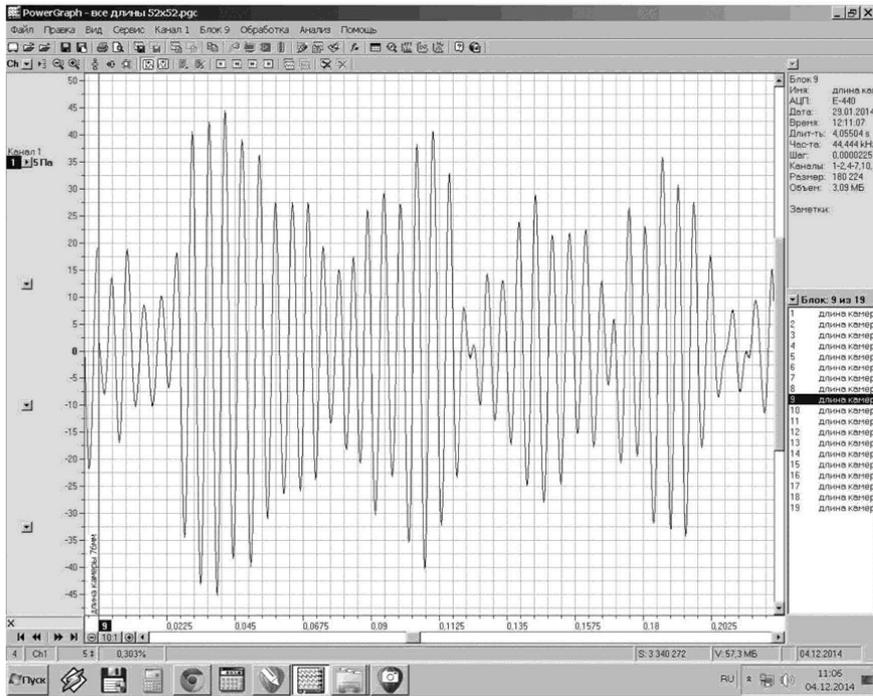
40

45

1

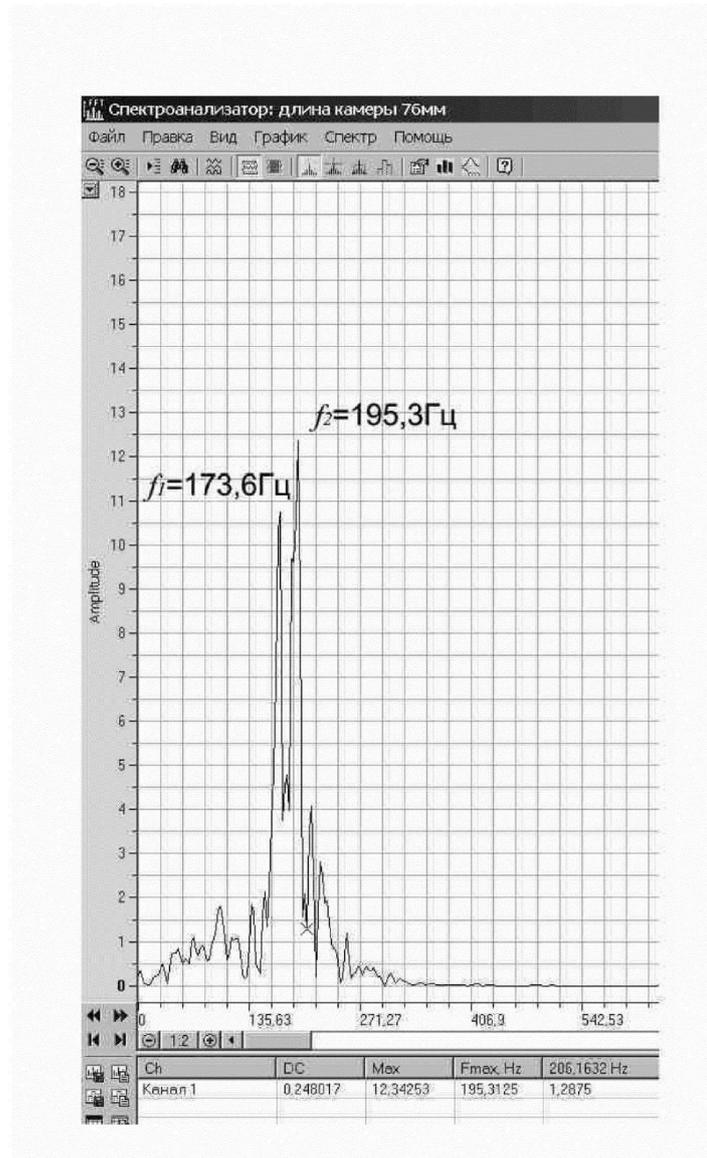


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3